

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA**

**Katedra geodézie a důlního měřictví**

..

**Testování vybraných geodetických přístrojů**

**Testing the Accuracy of Selected Surveying Instruments**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Autor:**

Bc. Jindřiška Velová

**Vedoucí bakalářské práce:**

Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Ostrava 2020





VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Katedra geodézie a důlního měřictví

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jindřiška Velová**  
Studijní program: N3646 Geodézie a kartografie  
Studijní obor: 3646T007 Inženýrská geodézie  
Téma: **Testování přesnosti vybraných geodetických přístrojů**  
**Testing the Accuracy of Selected Surveying Instruments**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Výběr měřických přístrojů a jejich popis.
2. Ověření přesnosti vybraných geodetických přístrojů.
3. Zpracování měřených dat a vyhotovení kalibračních listů.
4. Zhodnocení přesnosti měřických přístrojů.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN ISO 17123-3 *Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů - Část 3: Teodolity*, Praha: Český normalizační institut, 2005  
ČSN ISO 17123-4 *Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů - Část 4: Elektrooptické dálkoměry*, Praha: Český normalizační institut, 2005  
MAZALOVÁ J. *Měření délek a komparace měřidel a dálkoměrů*, Ostrava, 2002

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020



doc. Ing. Pavel Černota, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
děkan fakulty

## *Prohlášení autora diplomové práce*

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu. Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

*V Ostravě dne 25.5.2020*

*Bc. Jindřiška Velová*



## **Poděkování**

Poděkování bych ráda věnovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za trpělivost, cenné rady a zejména čas, který i přes složitou situaci věnoval. Nadále chci také poděkovat Tereze Strejcové za pomoc a asistenci při měření mé práce a v neposlední řadě si velké poděkování zaslouží má rodina a blízcí přátelé za finanční i morální podporu, kterou mi po celou dobu studia věnovali.

## **Anotace**

Tato diplomová práce se věnuje testování vybraných geodetických přístrojů, konkrétně totální stanice Leica TCR1203 a nivelačního přístroje Leica DNA03. Celá práce vychází z normy ČSN ISO 17123: Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů. Součástí práce bylo měření v terénu a následné vyhodnocení naměřených hodnot. Cílem vyhodnocení bylo zjištění, zda námi testované přístroje splňují přesnost uváděnou výrobcem. Teoretická část práce se zabývá měřením a metrologií obecně.

### **Klíčová slova:**

Testování, metrologie, ČSN ISO, Leica TCR1203, Leica DNA03, směrodatná odchylka, přesnost, nejistota

## **Summary**

This diploma thesis devoted to testing of geodetic instruments, specifically the total station Leica TCR 1203 and levelling instrument Leica DNA03. The whole work is based on the standard The ISO 17123 standard was used for the procedures for the calculation of the deviations. Part of the work was field measurements and then evaluation of measured values. The aim of the evaluation was to determine whether the instruments tested by us meet the accuracy specified by the manufacturer. The theoretical part thesis with measurement and metrology in general.

### **Key words:**

Testing, metrology, ISO, Leica TCR1203, Leica DNA03, experimental standart deviation, precision, uncertainty

## Obsah

1	Úvod.....	11
2	ÚVOD DO TEORIE MĚŘENÍ.....	12
2.1	Měření.....	12
2.1.1	Měřicí jednotky .....	14
2.2	Vývoj a současnost metrologie.....	15
2.2.1	Rozdělení metrologie .....	17
2.2.2	Legislativní rámec metrologie .....	18
2.3	Metrologická přesnost a nejistota.....	20
3	OVĚŘOVÁNÍ A KALIBRACE MĚŘÍCKÝCH PŘÍSTROJŮ .....	24
3.1	Kalibrační základny .....	26
3.1.1	Geodetické délkové základny .....	26
3.1.2	Azimutální základna Židovské pece .....	27
3.2	Délková základna Krásné pole .....	27
3.2.1	Měřická chodba VŠB-TUO .....	29
4	POUŽITÉ PŘÍSTROJE .....	30
4.1	Totální stanice Leica TCR 1203+.....	30
4.2	Elektrooptické dálkoměry .....	31
4.3	Nivelační přístroj Leica DNA 03 .....	32
5	KALIBRAČNÍ POSTUP-Teodolit .....	35
5.1	Předmět kalibrace .....	35
5.2	Související normy a metrologické postupy .....	35
5.3	Názvosloví a definice .....	35
5.4	Prostředky potřebné pro kalibraci .....	36
5.5	Rozsah kalibrace.....	36
5.6	Postup kalibrace.....	36



5.6.1	Testování horizontálních úhlů.....	36
5.6.1.1	Postup měření.....	38
5.6.1.2	Výpočet.....	38
5.6.2	Testování svislých úhlů.....	42
5.6.2.1	Postup měření.....	42
5.6.2.2	Výpočet.....	42
5.6.3	Vyhodnocení kalibrace .....	46
5.6.4	Stanovení nejistoty.....	47
6	KALIBRAČNÍ POSTUP-Elektrooptické dálkoměry .....	48
6.1	Předmět kalibrace .....	48
6.2	Související normy a metrologické postupy .....	48
6.3	Názvosloví a definice .....	48
6.4	Prostředky potřebné pro kalibraci .....	49
6.5	Podmínky kalibrace .....	49
6.6	Rozsah kalibrace.....	49
6.7	Postup kalibrace.....	49
6.7.1	Testování délek .....	49
6.7.1.1	Postup měření.....	51
6.7.1.2	Výpočet.....	51
6.7.2	Vyhodnocení kalibrace .....	54
6.7.3	Stanovení nejistoty.....	55
7	KALIBRAČNÍ POSTUP-Nivelační přístroje.....	56
7.1	Předmět kalibrace .....	56
7.2	Související normy a metrologické postupy .....	56
7.3	Názvosloví a definice .....	56
	Prostředky potřebné pro kalibraci.....	57

7.4	Podmínky kalibrace .....	57
7.5	Rozsah kalibrace.....	57
7.6	Postup kalibrace.....	57
7.6.1	Testování nivelačních přístrojů.....	57
7.6.1.1	Postup měření.....	58
7.6.1.2	Výpočet .....	59
7.6.2	Vyhodnocení kalibrace .....	68
7.6.3	Stanovení nejistoty .....	70
9	ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝH VÝSLEDKŮ .....	72
9.1	Testování teodolitu .....	72
9.2	Testování dálkoměru .....	72
	Testování nivelačního přístroje .....	73
10	ZÁVĚR .....	74
	Seznam použité literatury .....	75
	Seznam obrázků.....	78
	Seznam tabulek.....	79
	Seznam grafů .....	80
	Seznam příloh .....	81

## 1 ÚVOD

Každý geodetický přístroj má výrobcem danou přesnost. Zároveň každý přístroj je opotřebováván, stárne a prochází určitou údržbou, což je jen jeden z mnoha faktorů, které ovlivňují správnost měření. Pravidelné ověřování a testování přístrojů je důležitou součástí pro správné fungování přístroje a především pro přesné měření. Postupy pro vyhodnocování přesnosti vychází z normy ČSN ISO 17123, která udává postupy pro ověřování a vyhodnocování přesnosti geodetických přístrojů pro stavební, ale i zeměměřické účely měření. Zkoušky přístrojů slouží ke kontrole vhodnosti pro určitý úkol a pro splnění nároků jiných norem. Zkoušky jsou navrženy tak, aby bylo možné jejich okamžité provedení v terénu, a to bez dalšího speciálního příslušenství s minimalizací okolních vlivů, zejména atmosféry.

Z této normy také vychází má diplomová práce, jejíž součástí je testování přesnosti teodolitů i dálkoměrů totální stanice TCR1203+ a testování nivelačního přístroje DNA03. Teoretická část práce se zabývá zejména terminologií a legislativním rámcem v oblasti metrologie a ověřování přesnosti přístrojů. Vysvětluje problematiku metrologických chyb a nejistot a stručně popisuje testované přístroje. Praktická část je uspořádána ve formě tří kalibračních postupů. První část řeší testování horizontálních úhlů na měřické pozorovatelně Vysoké školy báňské a testování vertikálních úhlů v kalibrační laboratoři. Druhý kalibrační postup se věnuje ověřování přesnosti dálkoměru totální stanice, pro jehož testování byla zvolena délková měřická základna Krásné Pole a poslední část se zabývá testováním nivelačního přístroje, který byl testován v měřické chodbě Vysoké školy báňské.

Naměřené hodnoty jsou zaznamenány ve formě tabulek. Výsledky testování jsou v souladu s normou vyhodnoceny pomocí statistických testů a porovnány s požadovanou přesností udávanou výrobcem. V závěru každého kalibračního postupu jsou uvedeny výsledné směrodatné odchylky a nejistoty měření. Výsledkem testování dálkoměru je také adiční konstanta a při testování nivelačního přístroje byla určena nevodorovnost záměrné přímky. Zpracování a vyhodnocení naměřených hodnot a výpočet hledaných veličin byl proveden v programu Excel.

## 2 ÚVOD DO TEORIE MĚŘENÍ

### 2.1 Měření

*„Nemá smysl hádat se na téma, o němž ani za použití veškerých současných vědeckých měření nemůžeme získat žádné údaje, které by nám mohly dát odpověď.“*

— Catherine Webb,

Měření je proces, který můžeme definovat jako soubor činností, jejíž výsledkem je kvantitativní nebo kvalitativní hodnota měřené veličiny. Hodnota je získaná přímým měřením nebo následným výpočtem z naměřených hodnot. Kvantitativní hodnoty veličin se opírají o mezinárodní soustavu jednotek. Určení hodnoty dané veličiny je charakterizování této veličiny pomocí čísla, které je hodnotě přiřazováno pomocí měřicího zařízení. [4]

Měření je proces experimentální, ke kterému je zapotřebí měřeného objektu a známé veličiny, také měřící jednotka, měřící metoda, měřící prostředek a měřící osoba, není-li proces automatizován. [3] [4]

Měřicí přístroje slouží ke zjišťování hodnot chemických či fyzikálních vlastností. Tyto hodnoty jsou vyjadřovány číslem a určitými jednotkami.

Základními charakteristikami měřících přístrojů jsou:

- Měřicí rozsah udává dovolený rozsah hodnot měřené veličiny.
- Citlivost přístroje udává, jakou nejmenší změnu dané veličiny je možno přístrojem zjistit.
- Přesnost přístroje udává zaručenou horní mez systematické chyby měření, tudíž největší možný rozdíl mezi naměřenou a skutečnou hodnotou veličiny [3] [4] [10]

V praxi žádným měřením ani měřicím přístrojem nelze zjistit naprosto správnou – skutečnou hodnotu měřené veličiny. Vliv na výslednou hodnotu má mnoho rušivých vlivů, které přesnost měření ovlivňují. Při měření jsou tedy důležité meze, ve kterých se musí naměřená hodnota pohybovat. Tyto meze definují velikost nejistoty měření. Měření je přesnější, čím je nejistota menší. Podle požadavků na přesnost volíme způsob měření. [4]

Číselná hodnota dané veličiny, která je veličině přisuzována, je tzv. konvenčně pravá hodnota a je přijatá jako hodnota, jenž je její nejistota vyhovující pro daný účel a požadavky.

Podmínky měření je možné rozdělit na dva typy, kterými jsou referenční a pracovní podmínky. Pracovní podmínky jsou podmínky definující zásady, které zaručují, že specifikované měřicí charakteristiky měřicího zařízení se nachází mezních hodnotách.

- Referenční podmínky jsou definované pro kalibraci a cejchování nebo je-li požadováno vzájemné porovnávání výsledků nebo funkční přezkoušení přístroje.

Měření je proces experimentální, ke kterému je zapotřebí měřeného objektu a známé veličin také měřicí jednotka, měřicí metoda, měřicí prostředek a měřicí osoba není-li proces automatizován. [3] [4]

### **Kvantifikační činnosti blízké měření:**

#### Odhad

Odhadem rozumíme odborný termín používaný pro různé účely. Odhad může být hrubý nebo přímým srovnáváním. V každém případě se však jedná o posuzování subjektivní. Hrubý odhad je ve většině případů značně nespolehlivý a vychází z dříve získaných zkušeností.

#### Třídění

Tříděním rozumíme rozdělování nebo řazení většího počtu hodnot či jedinců určitého druhu do několika různých tříd nebo skupin, které na sebe hodnotově navazují. Každé třídě náleží konečný interval hodnot zvoleného parametru. Pokud má tříděný parametr fyzikální, technický nebo číselný charakter jedná se o metrologické řazení.

#### Zkoušení

Pojem zkoušení je velmi široký a nemusí mít vždy kvantitativní charakter. *Mezinárodní terminologický slovník vydaný jako ČSN EN 54020 definuje zkoušku jako technickou operaci sestávající ze stanovení jednoho nebo několika znaků daného výrobku, procesu nebo služby podle specifikovaného postupu.* Jedná se o stanovení konkrétních hodnot technických nebo fyzikálních veličin nebo o činnost, kterou můžeme zjistit, zda námi sledovaná vlastnost určitého objektu má hodnotu nacházející se v předepsaných

nebo požadovaných mezích, obvykle tuto hodnotu konkrétně neurčujeme. Konkrétní určení hodnoty je požadováno pouze při vyšších nárocích na výsledek zkoušky. Týká se to zejména z hlediska metrologické řady činností při ověřování či kalibrování měřicích prostředků, jejichž nárok na přesnost jsou vysoký.

### Kontrola

Kontrola je podobně jako zkoušení pojem širokého významu. Z hlediska metrologického má zásadní význam kontrola technická, která po stránce kvalitativní i kvantitativní funguje jako síto, kterým mohou projít pouze dobré výrobky a jejich části. Můžeme jí obecně definovat jako činnost, která posuzuje, zda byly dodrženy předem stanovené požadavky. V mezinárodním slovníku legální metrologie je uveden termín metrologická kontrola. Tento termín je definován jako operace, která vede k zabezpečení záruk v oblasti legální metrologie. Obsahem metrologické kontroly je:

- a) kontrola měřidel
- b) metrologický dozor
- c) metrologická expertiza

#### 2.1.1 Měřicí jednotky

Ke splnění hlavního úkolu geodézie, což je určení vzájemné polohy jednotlivých bodů. Je nutné měřit různé fyzikální veličiny. Těmi veličinami jsou zejména délky, úhly, čas, tlak, vlhkost a teplota.

Soubor všech fyzikálních veličin tvoří soustavu veličin, z nichž jsou některé veličiny základní, k nimž přísluší jednotky základní a některé odvozené. Veličiny odvozené jsou k veličinám základním vázány fyzikálními vztahy. Měřicí jednotka fyzikální veličiny je vlastně veličina s hodnotou zvolenou za jednotkovou. Dělení do fyzikálních veličin a jejich jednotek do skupin je konvenční. Subjektům a orgánům státní správy je dána povinnost používat základní měřicí jednotky, jejich označování, násobky a díly nám stanovuje Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii. [2] [4]

Přehled všech fyzikálních veličin Obsahují normy třídy 0113 nesoucí označení ČSN EN ISO 80000. Dnes je přijatá obecně platná Mezinárodní soustava měřicích jednotek – International d'Unites známá pod zkratkou **soustava SI**, která vychází se z metrické soustavy. Její hlavní předností je, že po jejím přijetí se odstranila velká rozmanitost používaných soustav jednotek. Soustava SI definuje sedm základních

jednotek, kterými jsou metr, kilogram, sekunda, ampér, kelvin, mol a kandela. Z těchto základních jednotek vychází jednotky odvozené. Soustava SI nám ještě definuje dvě doplňkové jednotky, a to radián a steradián. [2] [4]

#### Jednotka délky

Délka je jedna z hlavních vlastností geometrického materiálního světa. Vyjadřujeme pomocí ní rozmístění konkrétních i abstraktních objektů. [2] [10]

V květnu 2019 vstoupila v platnost nová definice soustavy SI dle, které je **metr** definován:

**Metr, značka „m“, je jednotka délky v SI. Je definována fixací číselné hodnoty rychlosti světla ve vakuu  $c$ , aby byla rovna 299 792 458, je-li vyjádřena jednotkou  $m s^{-1}$ , kde sekunda je definována pomocí cesiové frekvence  $\Delta\nu_{Cs}$ . [10]**

#### Jednotka času

Sekunda je soustavou SI definována:

**Sekunda, značka „s“, je jednotka času v SI. Je definována fixací číselné hodnoty cesiové frekvence  $\Delta\nu_{Cs}$ , tedy frekvence přechodu mezi hladinami velmi jemného rozštěpení neporušeného základního stavu atomu cesia 133, aby byla rovna 9 192 631 770, je-li vyjádřena jednotkou Hz, rovnou  $s^{-1}$ . [10]**

#### Úhlové jednotky

Velikost úhlů je udávána v míře obloukové nebo stupňové. Používány jsou zejména radiány a grády. Grad nebo také gon, je jednotka používaná při měření rovinného úhlu a je  $\frac{1}{100}$  pravého úhlu. Tato míra je zejména využívána v oblasti geodézie. [10]

$$1 \text{ grad} = \frac{\pi}{200} \text{ radiánu.}$$

Radián je jednotkou doplňkovou a jeho definicí zní:

**Radián je rovinný úhel sevřený dvěma polopřímkami, které na kružnici opsané z jejich počátečního bodu vytínají oblouk o délce rovné jejímu poloměru [10]**

## 2.2 Vývoj a současnost metrologie

Veškeré metrologické úkony byly v minulosti velice primitivní. Jednalo se zejména o odhad velikosti délky, hmotnosti, času a teploty. Později v některých civilizacích vznikl velmi vyspělý měrný systém a odhad se postupně změnil v měření. Se zvyšujícími nároky

na kvantifikaci byl nutný požadavek na stanovení jednotných měr a vah, ale také na jednotnost měřících činností. Pro úkony dnes označovány termíny ověřování a kalibrování, bylo dříve využíváno termínů **cimentování**, později nahrazeno **cejchováním**.

Cimentování znamenalo činnost vycházející z porovnávání míry – závaží s normální mírou *tzv. s cimentním normálem*, jestliže vyhověla, byla opatřena cimentní značkou, cejchem nebo kolkem. Cimentování v překladu z latinského slova *caementum* znamená stavební kámen, což se v přeneseném významu mohlo vysvětlovat jako potvrzení nějaké skutečnosti. Po přijetí metrické konvence za Rakouska-Uherska se od tohoto termínu odstoupilo a začal se využívat termín cejchování, stejně jako termínů cejchovny, cejchovní úřady aj. V současnosti byly tyto výrazy nahrazeny termíny ověřování a kalibrování., které jsou v běžné praxi všeobecně srozumitelné. [4] [16]

Metrologie je dle mezinárodního slovníku základních a obecných termínů vydaném jako ČSN EN 01 0115 formuluje jako **vědu a o měření**. Zásadní rozdíl mezi metrologií a měřením je ten, že měření je soubor činností s cílem určit hodnoty veličin a metrologie je vědní a technická disciplína, která se zabývá veškerými poznatky a činnostmi vztahující se k měření. Úlohy metrologie jsou tedy podstatně širší než u vlastního měření. Hlavní náplň metrologie je uvedena v následující tabulce (*Tab. 1.*)

Tab. 1 Náplň metrologie [3]

Měření	Další činnosti
Veličina	Definice a volba
Jednotka	Soustava jednotek SI a definice
Metoda	Prověření, volba, porovnávání
Měřicí prostředek, měřicí soustava	Vývoj, výroba, transport, ukládání, seřizování, kalibrace, kontrola, registrace, automatizace, oprava, evidence, porovnávání, etalony
Lidský faktor	Výchova, vlastnosti, zkoušky a praxe
Realizace měření	Čtení, registrace, automatizace, výpočetní technika
Zpracování výsledků měření	Studium, statistika a výpočetní technika
Stanovení nejistot výsledků	Studium, statistika a výpočetní technika
Posouzení nejistot výsledků	Srovnání s požadavky a s výsledky podobných měření
Aplikace výsledků	Účel měření, požadavky a zkušenosti
Ostatní činnosti	Právní aspekty zákony, vyhlášky
	Organizace podnikové metrologie
	Mezinárodní spolupráce
	Prognóza



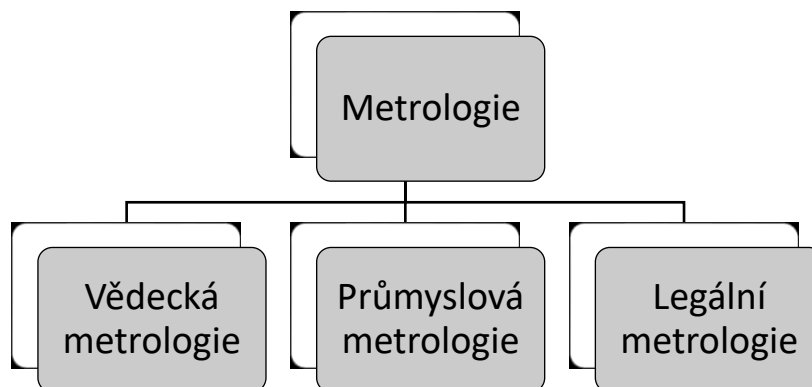
Metrologie má za úkol nejen zajištění měřicího procesu, ale také má zajistit jeho jednotnost a přesnost. Zabývá problémy jak teoretickými, tak praktickými. Jak uvádí tabulka, kromě vlastního procesu měření, zahrnuje metrologie [4] [16]

- definice fyzikální veličin,
- tvorbu a aktualizace soustav veličin,
- určování materiálových konstant,
- definování jednotek veličin a vytváření jejich soustav,
- navrhování měřících metod,
- navrhování měřidel a jejich vlastností,
- sledování vlastností měřidel,
- aplikace výpočetní techniky,
- ekonomické aspekty.

Její význam se dotýká mnoha technických i vědních oborů a je důležitou složkou všech lidských činností. Je důležitou součástí technologických procesů, čímž se zajišťují přesné a jednoznačné výsledky, má nesporný význam pro kontrolu a zkoušení a také řízení a zabezpečování jakostí výrobků a služeb. Její úloha je důležitá i v mnoha jiných oborech, jako je životní prostředí, zdravotnictví nebo v oblasti dopravy. [4]

### 2.2.1 Rozdělení metrologie

Metrologii můžeme rozdělit do mnoha skupin podle různých aspektů. Podle druhu metrologických problémů, jež řeší, dělíme tři základní skupiny obecnou, aplikovanou a fundamentální. V rámci Evropské unie je nejčastěji používáno rozdělení na tři základní kategorie (*Obr. 1*) [3] [4]



*Obr. 1. Rozdělení metrologie*

### Vědecká metrologie

Zabývá se soustavou měřících jednotek, výzkumem veličin tvorbou a udržováním etalonů a metodami měření. Má charakter vědeckého výzkumu a v principu je základem metrologického systému.

### Průmyslová metrologie

Zabezpečuje fungování měřidel a měřících přístrojů v průmyslu v oblasti výroby i v oblasti zkušebních procesů. Vyjma stanovených měřidel nevyplývají z metrologického zákona pro tuto oblast žádné povinnosti, neboť se jedná o oblast neregulovanou státem.

### Legální metrologie

Podílí se na zajištění přesnosti měřidel ovlivňující ekonomické transakce, zdraví a bezpečnost osob, životní prostředí a další obecné zájmy. Zabývá se právními náležitostmi, a to technickými a administrativními, které se vztahují k měřícím jednotkám, metodám měření nebo samotnému procesu měření. [3] [4]

## **2.2.2 Legislativní rámec metrologie**

Pro každou odborně způsobilou osobu v oblasti metrologie je z hlediska jeho odborné kvalifikace zásadní ovládat právní úpravu metrologie. Jelikož je způsob zajišťování správnosti dán předpisy, normami i zákony, má dodržování těchto normativů zásadní význam pro metrologii. Obsah všech zmíněných normativů nám udává prakticky veškeré zásady, ať už se jedná o veličiny, jednotky, měřící techniku, etalony nebo techniku měření. Přitom termín technika měření nám udává celý měřící proces, kdežto pojem měřící technika nám značí pouze měřící prostředky. Národní metrologický systém se opírá o právní předpisy upravující práva a povinnosti všech subjektů, které působí v oblasti metrologie. Základem právní úpravy je zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii ve znění pozdějších předpisů.

### Zákon č. 505/1990 Sb.

Tento zákon zejména upravuje práva a povinnosti všech organizací a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření. Zákon pojednává o povinnosti používat měřících jednotek (§ 2), kterými jsou základní měřící jednotky SI, o používaných měřidlech sloužících k hodnot měřené veličiny (§ 3), návaznosti měřidel (§ 5) a definuje etalon (§ 3).

Další části zákon se zabývají schvalováním typů měřidel vyrobených v tuzemsku nebo měřidel dovezených, ověřováním a kalibrací, (§ 9) uváděním měřidel do oběhu a jejich používáním. (§ 10) (§ 11) Poslední části definují zahraniční vztahy (§ 12), úkoly státní správy. (§ 13) [3] [8] [9]

#### Všeobecné vyhlášky

*Vyhláška MPO č. 262 /2000 Sb.*, která zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a měření, ve znění vyhlášek č. 344/2002 Sb., 229/2010 Sb. a 125/2015 Sb. - rozpracovává některé postupy a zásady pro provádění konkrétních ustanovení zákona o metrologii.

*Vyhláška MPO č. 345/2002 Sb.*, která stanovuje měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu

*Vyhláška MPO č. 264/2000 Sb.*, o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a jejich označování, ve znění vyhlášky č. 424/2009 Sb. [9]

#### Metrologické předpisy

Jedná se o metodické pokyny, pracovní postupy nebo technické požadavky na měřidla. Jsou závazné zejména pro orgány státní metrologie. Metrologické předpisy jsou vydávány Úřadem pro technickou normalizaci a Českým metrologickým institutem. Předpisy vydané ČMI nesou označení MP 001 – MP 021. [9]

#### NORMA ČSN ISO 17123 OPTIKA A OPTICKÉ PŘÍSTROJE

ČSN ISO 17123 upřesňuje terénní postupy, které by měly být přijaty pro určování a vyhodnocování přesnosti geodetických přístrojů a jejich příslušenství, při použití pro stavební a zeměměřická měření. V první řadě jsou tyto zkoušky míněny jako terénní kontrola vhodnosti určitých přístrojů pro daný úkol a také ke splnění nároků dalších norem.

Nejsou navrhovány jako zkoušky pro akceptační nebo výkonnostní hodnocení.

Tyto terénní postupy byly vyvinuty speciálně pro okamžité (in situ) použití bez potřeby speciálního příslušenství a jsou záměrně vytvořeny tak, aby minimalizovaly vlivy atmosféry.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Přeloženo z originálu: Anotace textu normy ČSN ISO 17123-1 (730220)

Norma ČSN ISO 17 123 obsahuje tyto části:

- Část 1: Teorie,
- Část 2: Nivelační přístroje,
- Část 3: Teodolity,
- Část 4: Elektronické dálkoměry,
- Část 5: Tachymetry,
- Část 6: Rotační lasery,
- Část 7: Optické provažovací přístroje. [4] [6] [7] [9]

## 2.3 Metrologická přesnost a nejistota

**Přesnost měření** je kvalitativní vyjádření shody výsledků měření od pravé hodnoty. Vysoká přesnost udává schopnost opakování měření v úzkém rozmezí.

Přesnost měření můžeme rozdělit na dvě složky, kterými jsou správnost a shodnost

- **Správný výsledek** je výsledek, který není zatížen žádnými systematickými chybami
- **Shodný výsledek** je výsledek, který není zatížen žádnými náhodnými chybami

**Systematické chyby** jsou způsobeny systémem měření, vlivem měřící osoby nebo chybou měřícího přístroje. Mají za stejných podmínek stálou velikost a stejné znaménko.

**Náhodné chyby** jsou chyby způsobené nesoustavnými a náhodnými vlivy, s jimiž musíme při každém měření počítat. Můžeme je vyhodnotit pomocí matematické statistiky.

**Nejistota měření** je parametr prisuzovaný k výsledku měření, tento parametr charakterizuje rozsah indikovaných hodnot měřené veličiny. Nejistota měření je měřítkem kvality výsledku. Udává nám interval hodnot, v němž mohou ležet pravé hodnoty.

Zdroji nejistot jsou veškeré jevy, které ovlivňují jednoznačnost výsledků měření. Ve výsledku to znamená, že výsledná naměřená hodnota se odlišuje od hodnoty pravé. Základní charakteristika nejistoty je standardní nejistota, tj. je nejistota vyjádřená směrodatnou odchylkou. Značíme ji  $u$  (*z anglického uncertainty*). Standardní nejistoty rozdělujeme na nejistoty typu A a nejistoty typu B. [8] [9] [11]

### Typy nejistot

- **TYP A** ( $u_a$ )
  - **náhodné vlivy** – výpočet směrodatné odchylky z opakovaných měření
  - postup pro stanovení nejistoty typu A je založen na stanovení nejistoty statistickou analýzou série pozorování. Hodnota  $u_a$  je spolehlivější s větším počtem opakovaných měření.
  
- **TYP B** ( $u_b$ )
  - stanovení standardní vychází nejistoty z nějaké jiné odborné znalosti. Vychází z úsudku, který je založen na dostupných informacích o dané veličině a jejích možných změnách.
  - **systematické vlivy** – odhad založený na získaných informacích
    - z předchozích měření
    - ze specifikace výrobců
    - z kalibračních listů a certifikátů [1] [8] [9] [11]
  
- **Kombinovaná standardní nejistota** ( $u_c$ ) – Kombinovaná standardní nejistota je sloučená ze standardní nejistoty typu A i B. Je určována vztahem:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (2.1)$$

- **Rozšířená nejistota** – Rozšířená nejistota  $U$  nepatří do standardních nejistot. Neboť standardní nejistota představuje interval spolehlivosti určený s pravděpodobností asi 68 %. Chceme-li dosáhnout intervalu blížícího se 100 %, musíme standardní nejistotu rozšířit koeficientem rozšíření  $k$ . Neboť pravděpodobnost překročení  $u_c$  je velmi velká volí se hodnota  $k$  tak, aby pravděpodobnost překročení  $U$  byla malá. Je dána vztahem:

$$U = k \times u_c \quad (2.2)$$

Pro  $k=2$  je úroveň spolehlivosti 95 % [8] [9] [11]

### Odchytky měření a korekce

**Odchytkou měření** je rozdíl mezi hodnotou naměřenou a hodnotou skutečnou měřené veličiny. Jelikož nemůžeme skutečnou hodnotu z fyzikálních příčin zjistit, nahrazujeme ji hodnotou konvenčně pravou. Tato hodnota se k pravé hodnotě natolik přibližuje, že rozdíl mezi nimi je zanedbatelný.

**Absolutní odchytky** měření se určí rozdílem naměřené hodnoty a hodnoty konvenčně pravé, tedy dle vzorce:

$$\Delta_X = X_M - X_P \quad (2.3)$$

Kde:  $\Delta_X$  - Absolutní odchytky měření

$X_M$  - Hodnota naměřená

$X_P$  – Hodnota konvenčně pravá

Relativní odchytky měření nám udává poměr absolutní chyby k hodnotě naměřené. Uvádí se obvykle v procentech. Relativní odchytky je zpravidla používána ke stanovení přesnosti měřící metody.

$$\delta_X = \frac{\Delta_X}{X_M} \quad (2.4)$$

Kde:  $\delta_X$  – Relativní odchytky měření

$\Delta_X$  - Absolutní odchytky měření

$X_M$  - Hodnota naměřená

### Systematické a náhodné odchytky

Každá naměřená hodnota není přesně rovna naměřené veličině, a to i pokud neuvažujeme vliv lidského faktoru a chyby hrubé. Několikrát se opakujícím měřením stejné hodnoty za stejných podmínek můžeme pozorovat, jak se výsledky od sebe liší. Tyto chyby neboli odchytky jsou způsobeny řadou příčin, které jsou následkem systematických a náhodných odchylek.

**Systematické odchylky** mohou být způsobeny volbou nevhodné měřicí metody, nepřesným měřidlem nebo přístrojem. Při opakovaném měření jsou stále stejné a mají stále stejné znaménko. Tyto chyby soustavně ovlivňují správnost měření. Výsledek zkreslují pravidelným způsobem. Pokud známe příčinu vzniku systematických chyb, určíme její velikost výpočtem nebo přesnějším měřením.

$$\Delta_{SYST} = \bar{X} - X_P \quad (2.5)$$

$$\delta_{SYST} = \frac{\Delta_{X_{syst}}}{X_M} \times 100 \quad (2.6)$$

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_m}{m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i \quad ((2.7)$$

**Náhodné odchylky** jsou chyby, které nemůžeme při měření kontrolovat ani je definovat, jelikož vznikají působením velkého počtu náhodných vlivů. Náhodnou chybou je zatížen každý měřicí proces a ve výsledku je jimi ovlivněna zejména přesnost měření. Náhodná chyba je veličina náhodná a řídí se zákony pravděpodobnosti. Při vyhodnocování výsledků měření jen nezbytné stanovit si nejpravděpodobnější hodnotu měřené veličiny a zároveň stanovit její přesnost, tzn. vymežit vliv náhodných chyb a kvantitativně vyhodnotit, jak náhodné chyby ovlivňují konečný výsledek měření. [8] [9] [11]

### Korekce

Korekce je hodnota měřené veličiny, kterou je nutné přičíst k naměřené hodnotě, abychom získali hodnotu pravou. Využívá se k vyhodnocení přesnosti přístroje.

$$K_X = X_P - X_M = -\Delta_X \quad (2.8)$$

Kde:  $-\Delta_X$  – Absolutní odchylka měření

$X_M$  - Hodnota naměřená

$X_P$  – Hodnota konvenčně pravá

$K_X$  – Hodnota konvenčně pravá [11]

### 3 OVĚŘOVÁNÍ A KALIBRACE MĚŘÍCKÝCH PŘÍSTROJŮ

Kalibrace a ověřování jsou postupy velmi obdobné. Rozdíl je zejména v tom, že při ověření se zkoumá shoda metrologických vlastností měřidel s úředně stanovenými požadavky, kterými jsou zejména maximální dovolené odchylky. Při kalibraci se zjišťuje vztah mezi naměřenou hodnotou a hodnotou danou etalonem. Kalibrace i ověřování jsou formy metrologické návaznosti měřidel. [4] [10] [16]

#### Ověřování

Ověřování stanovených měřidel, nám stvrzuje, že určené měřicí prostředky mají požadované metrologické vlastnosti. Postup ověřování stanovuje ministerstvo vyhláškou. Ověřovací činnost náleží pouze státním metrologickým orgánům. Důležité je rozlišovat termín *ověřování* a *ověření* (*stejně jako kalibrování a kalibraci*). První termíny nám udávají samotný proces prověřování měřidel v souladu s požadavky, tento proces nemusí být vždy ukončen kladným výsledkem. Druhé dva termíny vyjadřují úspěšně ukončený proces. Ověřené měřidlo opatří Český metrologický institut nebo autorizované metrologické zařízení úřední značkou, nebo je vydán ověřovací list. Grafickou podobu úřední značky i náležitosti ověřovacího listu stanovuje vyhláškou Ministerstvo průmyslu a obchodu.



Obr. 2. Ověřovací značka [23]

#### Kalibrace

Kalibrace měřidla znamená porovnávání jeho metrologických vlastností s etalonem, pokud není etalon k dispozici, je možné použít certifikovaný referenční materiál. Z výsledků kalibrace se vyhotoví kalibrační list a kalibrované měřidlo se opatří štítkem. Na rozdíl od ověřování se kalibrace neukončí opatřením plomby nebo značky. [4] [10] [16]



Kalibraci můžeme rozdělit na akreditovanou a neakreditovanou. Zatímco neakreditovaná kalibrace se řídí interními postupy, kalibrace akreditovaná se řídí kalibračními postupy schválenými Českým institutem pro akreditaci. Tyto metody kalibrace jsou ověřovány a provádí se mezilaboratorní porovnání s Českým metrologickým institutem.

V České republice kalibrační služby zajišťují:

- organizace vlastníci ověřené etalony
- pracoviště ČMI
- akreditovaná střediska

#### Kalibrační postup

Je předpis, který obsahuje soupis činností při kalibraci měřidel a slouží jako návod pro práci v kalibrační laboratoři. Zásady kalibračního postupu jsou:

- **úplnost** – musí obsahovat potřebné údaje,
- **správnost** – bez chyb a nesprávných údajů,
- **srozumitelnost** – obsah musí být jednoznačný, aby nevznikly pochybnosti o významu údajů a pojmů, jednoznačné zkratky,
- **účelnost** – musí určovat optimální podmínky efektivní průběh kalibrace s minimálními náklady a vynaložením práce,
- **validace** – musí být potvrzena a uznána platnost postupu v případě, že postup není normalizovaný,
- **stručnost** – v textové části uvádět pouze nezbytné a zásadní informace potřebné ke kalibraci měřidel s použitím správných odborných technických termínů,
- **přehlednost** – čitelný a vhodně upravený.

Kalibrační postup by měl obsahovat tyto oddíly:

- **předmět kalibrace** – specifikace kalibrovaného měřidla a jeho metrologické vlastnosti,
- **související normy,**
- **názvosloví a definice,**
- **požadavky na kvalifikaci pracovníků provádějících kalibraci,**

- **obecné podmínky kalibrace** – teplota, vlhkost, tlak,
- **měřicí prostředky potřebné ke kalibraci** –
- **příprava měřidla** – převzetí, čištění, seřízení,
- **vlastní zkouška měřidla,**
- **vyhodnocení kalibrace,**
- **zpracování protokolu.**

Náplň jednotlivých oddílů se může lišit na základě charakteru kalibrovaného měřidla a měřené veličiny. Protokol o provedené kalibraci se nazývá kalibrační list, který musí obsahovat:

- identifikační údaje o měřidle,
- datum kalibrace,
- použité etalony,
- podmínky měření,
- výsledek kalibrace,
- podpisy a razítko. [4] [10] [18]

### 3.1 Kalibrační základny

Kalibrační základny jsou místa, na kterých se provádí testování a kalibrace geodetických měřicích přístrojů. V České republice se nachází tři nejznámější akreditované kalibrační základny, jejíž činnost v současnosti zajišťuje Činnost oddělení Metrologie a inženýrské geodezie ve VÚGT.

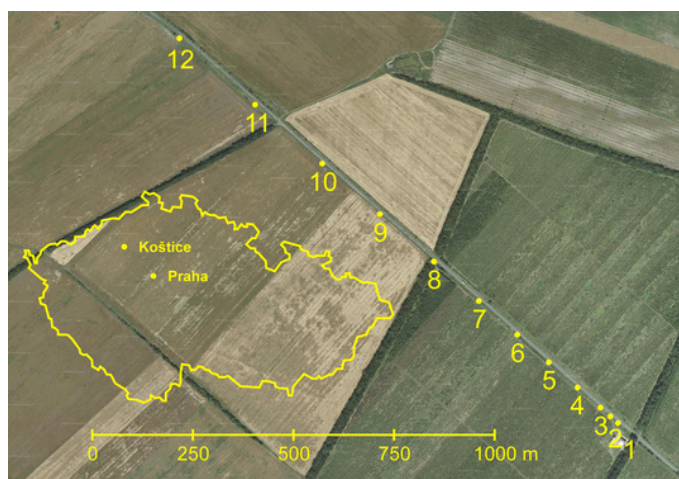
V České republice jsou nejznámějšími délkové základny Hvězda a Koštice a azimutální základna Židovské pece. [12]

#### 3.1.1 Geodetické délkové základny

**Délková základna Hvězda** se nachází v rozhraní jižní parkové cesty a travnatého pásu naproti letohrádku v oboře Hvězda. Dříve se v těchto místech nacházela původní délková základna realizovaná ze čtyřiceti hluboko zapuštěných betonových sloupků od sebe vzdálených 24 metrů, sloužila ke komparaci invarových drátů a k vyhodnocení astronomicko-geodetické sítě. S nástupem moderní technologie a rozvojem elektrooptických dálkoměrů vznikla v těchto místech nová délková základna realizovaná pomocí sedmi bodů rozmístěných na délce 960,8725 m. Body jsou stabilizovány

betonovými bloky 40 x 40 x 110 cm, do těchto bloků je zapuštěn čep s vyvrtaným otvorem o průměru 1,5 mm.

Další délkovou základnu Koštice můžeme najít v okrese Louny v linii podél silnice ve směru **Koštice-Libčeves**. Státní etalon délky 25 až 1450 m je realizace 66 délek. Terénní etalon se skládá ze 12 pilířů stabilizovaných pomocí nucené centrace sloužících k připevnění standartní geodetické techniky. (obr. 3) Délková základna slouží zejména ke kalibraci elektrooptických dálkoměrů. Státním etalonem byl vyhlášen 26. 2. 2008. [11][13]



Obr. 3. Délková základna Koštice (Louny) [13]

### 3.1.2 Azimutální základna Židovské pece

Hlavní bod základny pro kalibraci úhlových geodetických úhlových přístrojů se nachází v lokalitě Židovské pece. Je stabilizován betonovým blokem 20 x 20 x 80 cm s bronzovým čepem s vyvrtaným otvorem o průměru 1,5 mm. Čtyři směry azimutálního etalonu jsou signalizovány měřící značkou na zdech budov, v rovnoměrném rozsahu 400<sup>g</sup>. Azimutální základna se využívá pro kalibraci teodolitů, totálních stanic nebo aerokompasů. [12]

### 3.2 Délková základna Krásné pole

Báňská měřická základna VŠB Ostrava Poruba se do provozu uvedla roku 1980 a provozovatelem se stala Vysoká škola báňská. Dříve sloužila jako základna pro triangulační měření pro celé město Ostrava. Měření bylo prováděno z vrcholu hlavního pylonu. Okolní vegetace během několika let triangulační měření znemožnila. Další součástí základny bylo také pět pilířů, ze kterých vycházela gyroskopická měření v dole.

Jedná se Laplaceovy body, které jsou charakteristické, že je na nich určena astronomická zeměpisná délka, délka azimutu, azimut a geodetická zeměpisná šířka. Představují základ opěrných bodů geodetické sítě.

Nyní slouží celý areál zejména jako Planetárium Ostrava. V praktické výuce v oblasti geodézie a důlního měřictví je využívána pouze délková základna. (Obr. 4). [19]



Obr. 4. Měření na délkové základna Krásné pole

Délka základny je 251,63 m a skládá se ze 7 pilířů stabilizovaných nucenou centrací pomocí vybetonovaných patnic o průměru 0,4 m do hloubky 1,3 m. Základ pilíře má průměr 0,7 m, výška nad terénem se pohybuje od 0,7 do 1,4 m odpovídající výškové kótě základny. Na všech vodorovných hlavách pilířů jsou usazeny kovové měřické značky s ryskami, které jsou již ale díky osazení nucených centrací prakticky nepoužitelné (Obr.5) [19]



Obr. 5. Nucená centrace na betonových pilířích

### 3.2.1 Měřická chodba VŠB-TUO

Budovou rektorátu VŠB – Technické univerzity Ostrava prochází 34 m hluboká šachtice simulující důlní jámu, která se napojuje na měřickou chodbu dlouhou 55 m. (Obr. 6). Studentům Katedry geodézie a důlního měřictví slouží zejména ke studijním účelům, a praktické výuce, jako například připojovací a usměrňovací měření a hloubkové měření. Měřická chodba dlouhá 55 m má za úkol nejen simulovat důlní prostředí, ale zároveň díky svým ideálním klimatickým podmínkám je vhodná pro kalibraci měřických přístrojů, a to zejména elektrooptických dálkoměrů nebo nivelačních přístrojů.

Na rozdíl od Báňské délkové základny u Planetária se mnohem více přibližuje laboratorním podmínkám v uzavřených laboratořích díky konstantní teplotě, stálému tlaku, bezvětrí a vlivu slunečního záření.



Obr. 6. Měřická chodba



Obr. 7. Vnitřní pilíře pozorovatelny

Součástí celého objektu je také měřická pozorovatelna. (Obr. 7). Nachází se na střeše rektorátu VŠB-TUO. Součástí měřické pozorovatelny je šest observačních pilířů s nucenou centrací, tři venkovní a tři vnitřní. Studenti si zde mohou vyzkoušet a procvičit měření vodorovných úhlů různými metodami, geodetické metody výpočtů souřadnic nebo pro observaci GPS měření. Venkovní pilíře také slouží k testování přesnosti aparatur GNSS sloužících ke geodetickým účelům. [20]

## 4 POUŽITÉ PŘÍSTROJE

### 4.1 Totální stanice Leica TCR 1203+

Totální stanice od společnosti Leica nesoucí označení TCR 1203+ (*Obr. 8*), patří do řady TPS1200+. představující verzi totálních stanic Systému 1200. Tento systém totálních stanic je systém plně integrovaný. Systém umožňuje spolupráci TPS (*Construction Total Stations*) a GNSS (*Global Navigation Satellite System*). K ovládání se používá operační systém Leica SmartWorx, který zaručuje jednotnou databázi měření z totální stanice a GNSS a výkonnou správu dat. EDM (*electronic distance measurement*) - elektrické měření vzdálenosti používá viditelný červený laserový paprsek, který umožňuje přesné cílení i v horších atmosférických nebo světelných podmínkách, nabízí různé režimy měření, jak měření na různé druhy hranolů, a to až do 3000 m s vynikající přesností, tak měření bez použití hranolu do 1000 m. Lze je tedy použít k měření špatně dostupných nebo nepřístupných cílů. Při měření úhlů poskytuje okamžité čtení na horizontálním i vertikálním kruhu. Ke stabilizaci a centraci přístroje přesně nad bod slouží centrálně umístěný dvojosý kompenzátor a laserová olovnice. Dále disponuje řadou funkcí jako je ATR (*Automatic Target Recognition*), PowerSearch, LOCK nebo One-man-system.

Software *Leica SmartWorx* je navržen tak, aby ušetřil čas a námahu při dokončování úkolů a zpracování dat. Software je umožňuje naměřená data ihned zpracovat pro další měřičské úkony. Naměřená data jsou ukládána do paměti přístroje, dají se tedy snadno importovat do počítače.

Pro naše testování byl zvolen přístroj Leica TCR 1203+ (*Obr. 8*) [15] [16] [18]



*Obr. 6. Leica TCR 1203+ [21]*

Technické parametry jsou uvedeny v následující tabulce. (Tab. 2)

Tab. 2 Technické parametry Leica TCR 1203

<b>TECHNICKÉ PARAMETRY</b>		
<b>Měření úhlů</b>		
Střední chyba měřeného úhlu (V, Hz)		3" (1,0 mgon)
Minimální čtení		0,1" (0,1 mgon)
<b>Měření délek na hranol (IR)</b>		
<b>Dosah</b>	Kulatý hranol (GPR1)	<3000 m
	Minihranol (GMP101)	<1200 m
	Odrazná fólie	<250 m
<b>Přesnost/čas</b>	Standartní měření	1 mm+1,5ppm / typ. 2,4 s
	Rychlé měření	3 mm + 1,5ppm / typ. 0,8 s
	Tracking	3 mm + 1,5ppm / typ. 0,15 s
<b>Měření délek bez hranolu (RL)</b>		
<b>Dosah</b>	PinPoint R400	<400 m
	Nejkratší záměra	1,5 m
<b>Přesnost/čas</b>	Do 500 m	2 mm + 2ppm / typ. 3-6 s
	Nad 500 m	3 mm + 2ppm / typ. 3-6 s
<b>Laserová stopa</b>	ve 20 m / 100 m	7 mm x 14 mm / 12 mm x 40 mm

## 4.2 Elektrooptické dálkoměry

Světelné nebo také elektrooptické dálkoměry patří v geodézii mezi hlavní skupinu přístrojů k měření délek. Mají rozsah od několika metrů až do desítek kilometrů. Mezi hlavní přednosti je vysoká přesnost, rychlost a automatizace měření. Moderní světelné dálkoměry jsou vybaveny elektronickými vysoce funkčními výpočetními systémy, které přepočítávají šikmou délku na vodorovnou a dokáže určit vzdálenost mezi naměřenými i jednotlivými body. Pokud je přístroj připojen do souřadnicového a do výškového systému je schopen provádět i souřadnicové výpočty.

V praxi jsou používány světelné dálkoměry s přímým měřením časového intervalu, nebo dálkoměry s nepřímým určením časového intervalu pomocí měřených fázových rozdílů. Cílový bod měřené délky je signalizován zacíleným odrazným hranolem. Počet hranolů závisí na vzdálenosti a atmosférických podmínkách. Některé přístroje jsou schopny pracovat s pasivním odrazem měřických vln od nepohltivého cíle, proto není nutné na cílový bod umisťovat odrazné systémy. [15] [18]



### 4.3 Nivelační přístroj Leica DNA 03

Dalším přístrojem použitým k testování byl nivelační přístroj výrobce Leica DNA03. Přístroj je digitální, tudíž odečítání probíhá elektronicky a jsou využívány kódové latě s čárovým kódem. Elektronické měření je založeno na jednoduchém principu. V přístroji je uložen obraz kódu latě – referenční signál, po správném zacílení a zaostření se spustí měření. Přístroj zachytí polohu zaostřovací čočky a dekodérem zachytí část latě v zorném poli. Následně dojde k přesné korelaci, kdy je měřený signál porovnán s referenčním signálem. Výsledek se převede na data, které jsou zobrazeny na LCD displeji jako čtení na lati. Současně je pomocí polohy čočky odhadnuta vzdálenost latě a díky tomu se omezí pole obrazu latě. Jedná se nepřímé měření délky a výsledná hodnota se zobrazí jako délka záměry.

Mezi hlavní charakteristiky patří velký displej, alfanumerická klávesnice, obousměrná horizontální ustanovka, magnetický tlumený kompenzátor. Přístroj Leica DNA03 (*Obr. 9*) se využívá pro technickou, až velmi přesnou nivelaci, kdy pro přesnou nivelaci je nutné omezit délku záměr pod 30 m minimální výšku záměry dodržovat, alespoň 0,5 m.

Technické parametry testovaného nivelačního přístroje DNA03 jsou uvedeny v tabulce. (*Tab. 3*) [14] [18]



*Obr. 7. Přístroj Leica DNA03[22]*



Tab. 3 Technické parametry Leica DNA03

TECHNICKÉ PARAMETRY	
Rozsah měření	0,6-60 m
Střední chyba	0,3 mm
Přesnost délek	5 mm/10 m
Zvětšení dalekohledu	24krát
Kompenzátor	Magnetický tlumený kyvadlový s elektronickou kontrolou rozsahu
Rozsah kompenzátoru	±10'
Doba měření	3 sec.
Citlivost libely	8'/2 mm
Hmotnost	2,8 kg

PRAKTICKÁ ČÁST  
KALIBRAČNÍ POSTUP

## 5 KALIBRAČNÍ POSTUP-TEODOLIT

### 5.1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup se vztahuje k vyhodnocení přesnosti teodolitu totální stanice. Kalibrace se skládá z testování horizontálních a vertikálních úhlů.

### 5.2 Související normy a metrologické postupy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy
Vydána: 2.2009	a přidružené termíny (VIM)
ČSN ISO 17123-3 (730220)	Optika a optické přístroje-Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů-Část 3: Teodolity
ČSN EN ISO/IEC 17025	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří

### 5.3 Názvosloví a definice

**Totální stanice** – geodetický přístroj, který umožňuje současné měření vodorovných směrů, zenitových úhlů a šikmých délek z těchto veličin dokážou přístroje dopočítat další údaje jako například vodorovnou délku, převýšení, pravoúhlé souřadnice případně řešit přímo základní geodetické úlohy naměřené a dopočtené hodnoty se zobrazují v různých podobách v digitální formě a jsou registrovány.

**Odchylka** – hodnota veličiny mínus referenční hodnota dané veličiny

**Směrodatná odchylka** – kladná odmocnina rozptylu

**Nejistota měření** – parametr související s výsledkem daného měření a charakterizující rozptyl hodnot

**Kolimační chyba** – je způsobena odchylkou  $c$  mezi záměrnou přímkou  $Z$  a přímkou kolmou k točné ose dalekohledu  $H$ . Vyloučí se měřením ve dvou polohách dalekohledu.

**Indexová chyba** – je chyba, která vzniká v případě, že vodorovné záměrné přímce neodpovídá údaj svislého kruhu přesně 100 gon. Je to chyba konstantní, která ovlivňuje veškerá čtení svislých úhlů.

**Vertikální úhel** – úhel ve svislé rovině mezi vodorovným nebo svislým směrem a záměrou na bod. Na svislém kruhu přístroje se měří výškové úhly nebo zenitové vzdálenosti.

**Horizontální úhel** – úhel mezi pravoúhlými průměty dvou záměr do vodorovné roviny. Horizontální úhel se měří na vodorovném kruhu úhloměrného přístroje

## 5.4 Prostředky potřebné pro kalibraci

- Přístroj Leica 1203+
- Měřické terče
- Zápisník
- Etalon

## 5.5 Rozsah kalibrace

Kalibrace byla rozdělena do dvou částí, v první byly testovány vertikální úhly v kalibrační laboratoři v budově „J“ VŠB-TUO. Ve druhé horizontální úhly, které byly testovány na střeše budovy A“ VŠB-TUO, kde se nachází měřičská pozorovatelná.

## 5.6 Postup kalibrace

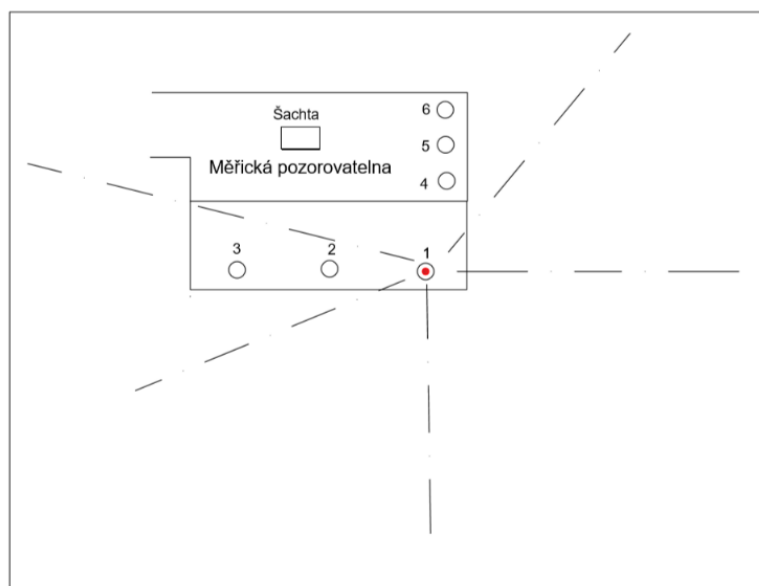
### 5.6.1 Testování horizontálních úhlů

Část normy 17123-3 (*Optika a optické přístroje-teodolity*) popisuje terénní postupy pro vyhodnocování a určování přesnosti teodolitů. Míra přesnosti teodolitů se vyjadřuje směrodatnou odchylkou v horizontálním nebo vertikálním směru měřeného v obou polohách dalekohledu. Norma popisuje dva postupy zkoušení pro horizontální i vertikální směry.

- Zjednodušený test
- Úplný test

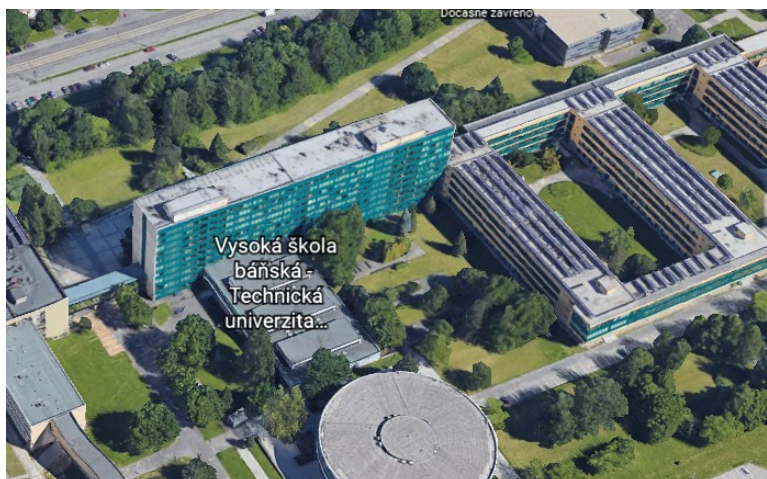
**Zjednodušený test** poskytuje odhad toho, zda je přesnost daného teodolitu v rámci stanovené povolené odchylky, podle ISO 4463-1. Zakládá se na omezeném počtu měření. Vypočítaná směrodatná odchylka pouze naznačuje dosaženou přesnost měření v běžné praxi, proto je zjednodušený test vhodný pouze pro orientační měření. [6] [8]

**Úplný test** dle normy nám udává směrodatnou výběrovou odchylku. Tento postup nám stanoví přesnost teodolitu na základě měření stejným měřicem, přesnost měření při použití různých teodolitů a přesnost teodolitu v průběhu času. Výsledné statistické testy vyhodnotí, zda odpovídá vypočtená výběrová odchylka směrodatné odchylce udávané výrobcem a zda dva testované soubory odpovídají požadované přesnosti. Konfigurace zkušebního pole je při jednoduchém testu jsou čtyři a při úplném testování 5 pevných cílů a musí být rovnoměrně umístěny přibližně ve stejné horizontální rovině jako přístroj. (obr.10) [5]



Obr. 8 Horizontální úhly-schéma

Naše měření probíhalo měřičské základně umístěné na střeše budovy „A“ - Vysoké školy Báňské. (Obr 11)



Obr. 9 VŠB-TUO budova A

### 5.6.1.1 Postup měření

Měření probíhalo dne 11. 12.2 019. Nejdříve bylo zvoleno rovnoměrně rozložených pět cílů ( $k=5$ ) v přibližně stejné vodorovné rovině jako dalekohled přístroje. Zvoleny byly horní rohy budovy, antény okolních budov, vrchol továrního komína či kopule kostela.

Úhly byly měřeny ve třech skupinách ( $j=3$ ) v obou polohách dalekohledu. Nejdříve byl přístroj zcentrován a zhorizontován na jeden z pilířů a temperován na aktuální teplotu. Samotné měření spočívalo v zaměření všech pěti cíl. Aby byl dodržen správný postup měření ve skupinách bylo nutné vždy nastavit jiné počáteční čtení vodorovného kruhu. Při měření první skupin bylo nastaveno nulové počáteční čtení a následně postupně zacíleno na další body ve směru hodinových ručiček. Po zaměření posledního cíle, bylo zacíleno zpět na první bod, čtení zaznamenáno a přístroj byl nastaven do druhé polohy dalekohledu, následně byly body zacíleny v opačném směru. Po zaměření první skupiny byla zaměřena druhá a třetí skupina, vždy bylo nastaveno jiné počáteční čtení cca o 50gon.

### 5.6.1.2 Výpočet

Výpočet je udáváný normou a byl proveden v programu Excel. Pro vyhodnocení byla použita metoda nejmenší čtverců. [5]

V rámci série měření  $i^{th}$  je jeden směr označen  $x_{j,k,I}$  nebo  $x_{j,k,II}$ . Index  $j$  označuje skupinu a index  $k$  cíl.  $I$  a  $II$  označuje polohu dalekohledu ( $x_{j,k}$ ).

Nejprve je nutné spočítat střední hodnoty čtení v obou polohách dalekohledu

$$x'_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} - x_{j,k,II} + 200^g}{2} \left( \frac{x_{j,k,I} - x_{j,k,II} + 180^g}{2} \right); j = 1,2,3, k = 1, \dots, 5 \quad (5.1)$$

Poté následuje redukce na počátek, tím že se do prvního směru vloží nula a od hodnoty  $x_{j,k}$  je vždy odečtena hodnota prvního směru  $x_{j,1}$ . Dle vzorce:

$$x'_{j,k} = x_{j,k} - x_{j,1}; j = 1,2,3, k = 1, \dots, 5 \quad (5.2)$$

Dalším krokem výpočtu je výpočet aritmetického průměru ( $\bar{x}_k$ ) ze tří skupin, které byly opraveny o redukce.

$$\bar{x}_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3}; k = 1, \dots, 5 \quad (5.3)$$

Oprava se spočítá jako rozdíl průměrných hodnot a redukováných směrů. Dle vzorce:

$$d_{j,k} = \bar{x}_k - x'_{j,k}; j = 1,2,3, k = 1, \dots, 5 \quad (5.4)$$

Následně je spočítán aritmetický průměr oprav a tyto průměrné hodnoty odečteny od oprav jednotlivých směrů, čímž jsou získány odchylky ( $r_{j,k}$ )

$$\bar{d}_j = \frac{d_{j,1} + d_{j,2} + d_{j,3} + d_{j,4} + d_{j,5}}{5}; j = 1, 2, 3 \quad (5.5)$$

Odchylky se spočítají jako rozdíl oprav dle vzorce:

$$r_{j,k} = d_{j,k} - \bar{d}_j; j = 1, 2, 3, k = 1, \dots, 5 \quad (5.6)$$

Podmínkou výpočtu je suma rovnající se nule:

$$\sum_{k=1}^5 r_{j,k} = 0 \quad (5.7)$$

Následně jsou vypočítány opravy čtverce, tak že odchylky umocníme a sečteme v každé skupině.

$$\sum r_i^2 = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 r_{j,k}^2 \quad (5.8)$$

Pro  $n=3$  skupin na  $t=5$  směrů je pro každou sérii měření počet stupňů volnosti:

$$v_i = (3 - 1) \times (5 - 1) = 8 \quad (5.9)$$

Z toho vyplývá, že výběrová směrodatná odchylka  $S_i$   $i$ -té série měření se vypočítá ze vzorce:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{8}} \quad (5.10)$$

V následující tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty horizontálních úhlů včetně jejich oprav a kolimačních chyb pro námi kalibrovaný přístroj Leica TCR 1203+ (Tab. 4). Dále je uveden výpočet směrodatné odchylky a statistický test Hz (Otázka a)

Tab. 4 Naměřené hodnoty, opravy a kolimační chyby TCR1203+

<i>j</i>	<i>k</i>	$x_{j,k,I}$	$x_{j,k,II}$	$x_{j,k}$	$x'_{j,k}$	$\bar{x}_k$	$d_{j,k}$	$r_{j,k}$	$r_{j,k}^2$	$c$ [mgon]
<b>1</b>	<b>1</b>	0,3981	200,4015	0,3998	0,0000	0,0000	0,0	0,3	0,11	1,70
	<b>2</b>	91,0869	291,0905	91,0887	90,6889	90,6898	-0,8	-0,5	0,27	1,80
	<b>3</b>	153,9533	353,9552	153,9543	153,5545	153,5555	-1,1	-0,7	0,54	0,95
	<b>4</b>	226,4199	26,4231	226,4215	226,0217	226,0222	-0,5	-0,1	0,02	1,60
	<b>5</b>	278,8249	78,8239	278,8244	278,4246	278,4239	0,7	1,0	1,10	-0,50
	<b>Σ</b>	<b>750,6831</b>	<b>950,6942</b>	<b>750,6887</b>	<b>748,6897</b>	<b>748,6913</b>	<b>-1,7</b>	<b>0,0</b>	<b>2,04</b>	
<b>2</b>	<b>1</b>	50,8932	250,8941	50,8937	0,0000		0,0	-0,2	0,04	0,45
	<b>2</b>	141,5844	341,5836	141,5840	90,6904		0,6	0,4	0,23	-0,40
	<b>3</b>	204,4469	4,4524	204,4497	153,5560		0,5	0,3	0,08	2,75
	<b>4</b>	276,9136	76,9188	276,9162	226,0226		0,4	0,2	0,03	2,60
	<b>5</b>	329,3160	129,3180	329,3170	278,4234		-0,5	-0,7	0,54	1,00
	<b>Σ</b>	<b>1003,1541</b>	<b>803,1669</b>	<b>1003,1605</b>	<b>748,69225</b>		<b>0,93</b>	<b>0</b>	<b>0,93</b>	
<b>3</b>	<b>1</b>	100,0162	300,017	100,0166	0,0000		0,0	-0,2	0,04	0,40
	<b>2</b>	190,7084	390,7048	190,7066	90,6900		0,1	-0,1	0,01	-1,80
	<b>3</b>	253,5708	53,5746	253,5727	153,5561		0,6	0,4	0,14	1,90
	<b>4</b>	326,0375	126,0402	326,0389	226,0223		0,1	-0,1	0,01	1,35
	<b>5</b>	378,4401	178,4405	378,4403	278,4237		-0,2	-0,4	0,15	0,20
	<b>Σ</b>	<b>1248,773</b>	<b>1048,7771</b>	<b>1248,7751</b>	<b>748,6921</b>		<b>0,6</b>	<b>-0,4</b>	<b>0,36</b>	

Výsledná směrodatná odchylka (dle 5.10)

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{8}} = \frac{3,24}{8} = \mathbf{0,64 \text{ mgon}}$$

Směrodatná odchylka vodorovného úhlu měřeného v obou polohách.

$$S_{hz} = \sqrt{2 \times S_i^2} = \mathbf{0,9 \text{ mgon}}$$

Výsledná kolimační chyba je součtem všech kolimačních chyb, tudíž:  $\sum c_i = \mathbf{0,9 \text{ mgon}}$



### Statistický test (Otázka a)

Nám říká, zda je vypočtená směrodatná odchylka menší než hodnota  $\sigma$  stanovená výrobcem, nebo menší než jiná předem určená hodnota  $\sigma$ .

#### Nulová hypotéza

$$s \leq \sigma$$

#### Alternativní hypotéza

$$s > \sigma$$

Nulová hypotéza nám říká, že směrodatná odchylka vodorovného směru měřeného v obou polohách je menší nebo rovna  $\sigma$ . Hypotéza není odmítnuta, pokud jsou splněny tyto podmínky:

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha} - \alpha(v)}{v}} \quad (5.11)$$

kde:

$v$  . . . počet stupňů volnosti

$s$  . . . výběrová směrodatná odchylka

$\sigma$  . . . základní směrodatná odchylka udávaná výrobcem

Vypočtená hodnota je porovnána s jednostranným testem za pomoci kritické hodnoty pro dané stupně volnosti  $v = 8$ , kde hladina významnosti je 5 %. Základní směrodatná odchylka udávaná výrobcem pro námi testovaný stroj TCR 1203+ je 1 mgon. Výsledky statistického testu jsou uvedeny v tabulce.

$$s \leq 1 \times \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95} - (8)}{8}}$$

$$\chi^2_{0,95}(8) = 15,51$$

$$s \leq 1 \times \sqrt{\frac{15,51}{8}}$$

$$s \leq 1,94$$

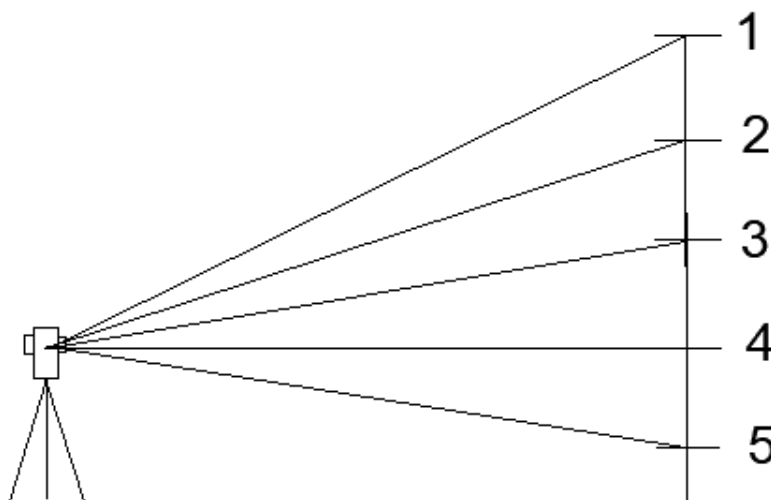
$$0,64 \text{ mgon} \leq 1,94 \text{ mgon} - \text{podmínka splněna}$$

Z testování vyplývá, že nulová hypotéza nebyla zamítnuta, což znamená, že měření odpovídá základní směrodatné odchylce zadané výrobcem na hladině významnosti  $\alpha = 5\%$

### 5.6.2 Testování svislých úhlů

Pro naše testování byl opět zvolen úplný test. Norma udává konfiguraci zkušebního pole při testování vertikálních úhlů 4 cíle, aby pokrývaly rozsah vertikálního úhlu přibližně  $30^\circ$ . Teodolit musí být umístěn přibližně ve vzdálenosti 50 m. [5]

Pro naše testování byla zvolena kalibrační laboratoř, kde jsme měli umístěno 5 svislých cílů. (Obr. 11)



Obr. 10 Vertikální úhly-schéma

#### 5.6.2.1 Postup měření

Měření probíhalo dne 11. 12. 2019. Abychom měli zajištěnou dokonalou stabilitu byl stroj připevněn na pilíř, poté zhorizontován. Dále mohlo následovat samotné měření. Svislé úhly byly měřeny ve třech skupinách ( $j=3$ ) a v obou polohách dalekohledu. Poté bylo zaměřeno všech 5 cílů v pořadí 1-5. ( $k=5$ ). Stejně pořadí bylo dodrženo po celé měření.

#### 5.6.2.2 Výpočet

Stejně jako u horizontálních úhlů byla i zde dle normy použita metoda nejmenších čtverců a výpočet proběhl v programu Excel.

Opět nám rámci série měření  $i^{th}$  jeden svislý úhel (obvykle zenitový) je označen  $x_{j,k,I}$  nebo  $x_{j,k,II}$ . Index  $j$  označuje skupinu a index  $k$  cíl.  $I$  a  $II$  označuje polohu dalekohledu ( $x_{j,k}$ ).

V první řadě spočítáme střední hodnoty pro čtení v obou polohách dalekohledu.

Dle vzorce:

$$x'_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} - x_{j,k,II} + 400^g}{2} \left( \frac{x_{j,k,I} - x_{j,k,II} + 360^\circ}{2} \right); j = 1,2,3, k = 1, \dots, 5 \quad (5.12)$$

Následuje výpočet indexové chyby, z níž je následně spočítán průměr.

$$\delta_i = \frac{1}{n \times t} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 \frac{x_{j,k,I} - x_{j,k,II} + 400^g}{2} \quad (5.13)$$

$$\delta = \sum_{i=1}^5 \delta_i \quad (5.14)$$

Dalším krokem je výpočet průměrné hodnoty vertikálních úhlů ze tří skupin ( $n=3$ )

$$\bar{x}_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3}; k = 1, \dots, 5 \quad (5.15)$$

Střední hodnoty ( $x'_{j,k}$ ) opravíme o průměrnou hodnotu ( $\bar{x}_k$ ).

$$r_{j,k} = x'_{j,k} - \bar{x}_k; j = 1,2,3; k = 1, \dots, 5 \quad (5.15)$$

S výjimkou chyby zaokrouhlení musí tyto opravy všech skupin splňovat podmínku:

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 r_{j,k} = 0 \quad (5.16)$$

Suma čtverců oprav  $i^{th}$  série měření vyplývá ze vzorce:

$$\sum r_i^2 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 r_{j,k}^2 \quad (5.16)$$

Pro  $n=3$  skupin svislých úhlů na  $t=5$  směrů je pro každou sérii měření počet stupňů volnosti:

$$v_i = (3 - 1) \times 5 = 10 \quad (5.17)$$

Z toho vyplývá, že výběrová směrodatná odchylka  $S_i$  svislého úhlu ( $x'_{j,k}$ ) měřeného v obou polohách dalekohledu,  $i$ -té série měření se vypočítá ze vzorce:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{10}} \quad (5.18)$$

V následující tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty vertikálních úhlů včetně jejich oprav a indexových chyb pro námi kalibrovaný přístroj Leica TCR 1203+ (Tab. 5).

Tab. 5 Naměřené hodnoty, opravy a indexové chyby TCR1203+

$j$	$k$	$x_{j,k,I}$	$x_{j,k,II}$	$x'_{j,k}$	$\bar{x}_k$	$r_{j,k}$	$r_{j,k}^2$	$i$ [mgon]
1	1	82,1481	317,8476	82,1503	82,1506	-0,4	0,1	-2,15
	15	88,0847	311,9101	88,0873	88,0859	1,3	1,7	-2,75
	30	95,0895	304,9079	95,0908	95,0922	-1,4	2,0	-1,30
	45	102,0126	297,9878	102,0124	102,0131	-0,7	0,5	0,20
	60	110,1749	289,8215	110,1767	110,1775	-0,8	0,7	-1,80
	$\Sigma$	477,5098	1522,4749	477,5175	477,5194	-2,0	5,1	
2	1	82,1503	317,8499	82,1502		-0,4	0,2	0,10
	15	88,0824	311,9121	88,0852		-0,7	0,5	-2,75
	30	95,0915	304,9058	95,0929		0,6	0,4	-1,35
	45	102,0130	297,9855	102,0138		0,6	0,4	-0,75
	60	110,1755	289,8189	110,1783		0,8	0,6	-2,80
	$\Sigma$	477,5127	1522,4722	477,5203		0,9	2,0	
3	1	82,1521	317,8493	82,1514		0,8	0,6	0,70
	15	88,0844	311,9140	88,0852		-0,6	0,4	-0,80
	30	95,0927	304,9068	95,0930		0,7	0,6	-0,25
	45	102,0118	297,9853	102,0133		0,1	0,0	-1,45
	60	110,1753	289,8201	110,1776		0,1	0,0	-2,30
	$\Sigma$	477,5163	1522,4755	477,5204		0,0	1,6	

Výsledná směrodatná odchylka (dle 5.18)

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{10}} = \frac{8,7}{8} = \mathbf{0,93 \text{ mgon}}$$

Výsledná indexová chyba je průměrem všech indexových chyb, tudíž **-1,30 mgon**.

### Statistický test (Otázka a)

Pomocí *Chi kvadrát rozdělení* opět zjišťujeme, zda je vypočtená směrodatná odchylka menší než hodnota  $\sigma$  stanovená výrobcem, nebo menší než jiná předem určená hodnota  $\sigma$ .

#### Nulová hypotéza

$$s \leq \sigma$$

#### Alternativní hypotéza

$$s > \sigma$$

Nulová hypotéza nám říká, že směrodatná odchylka směr svislého směru měřeného v obou polohách dalekohledu je menší nebo rovna  $\sigma$ . Tato hypotéza není odmítnuta, pokud jsou splněny následující podmínky.

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2 - \alpha(v)}{v}} \quad (5.19)$$

Vypočtená hodnota je porovnána s jednostranným testem za pomoci kritické hodnoty pro dané stupně volnosti  $v = 8$ , kde hladina významnosti je 5 %. Základní směrodatná odchylka udávaná výrobcem pro námi testovaný stroj TCR 1203+ je 1 mgon. Výsledky statistického testu jsou uvedeny v tabulce.

$$s \leq 1 \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2 - (10)}{10}}$$

$$\chi_{0,95}^2(8) = 19,31$$

$$s \leq 1 \times \sqrt{\frac{19,31}{10}}$$

$$s \leq 1,93$$

$$0,93 \text{ mgon} \leq 1,93 \text{ mgon} - \text{podmínka splněna}$$

Z testování vyplývá, že nulová hypotéza nebyla zamítnuta, což znamená, že měření odpovídá základní směrodatné odchylce zadané výrobcem na hladině významnosti  $\alpha = 5\%$

### 5.6.3 Vyhodnocení kalibrace

V následující tabulce jsou uvedeny výsledné hodnoty kalibrace úhlů. (Tab. 6)

Tab. 6 Vyhodnocení kalibrace úhlů

<b>Směrodatná odchylka vodorovného směru měřeného v obou polohách (<math>S_i</math>)</b>	0,64 mgon
<b>Směrodatná odchylka vodorovného úhlu měřeného v obou polohách (<math>S_{hz}</math>)</b>	0,9 mgon
<b>Směrodatná odchylka svislého úhlu měřeného v obou polohách: (<math>S_v</math>)</b>	0,93 mgon
<b>Kolimační chyba (c)</b>	0,9 mgon
<b>Indexová chyba (i)</b>	1,3 mgon

Následující tabulky obsahují vypočítané hodnoty nejistot vodorovných a svislých úhlů. (Tab. 7,8) Vyhodnocení kalibrace je obsaženo v kalibračních listech (Příloha 1)

#### Vodorovné úhly

Tab. 7 Stanovení nejistot – vodorovné úhly

Nejistota typu A	0,0017 mgon
Nejistota typu B	0,23 mgon
Kombinovaná nejistota	0,23 mgon
Rozšířená nejistota	0,5 mgon

#### Svislé úhly

Tab. 8 Stanovení nejistot – svislé úhly

Nejistota typu A	0,0012 mgon
Nejistota typu B	0,23 mgon
Kombinovaná nejistota	1,2 mgon
Rozšířená nejistota	0,5 mgon

## 5.6.4 Stanovení nejistoty

Tab. 9 Zdroje nejistot – testování teodolitu

Nejistota zacílení	0,22 mgon
½ nejmenší hodnoty odečtu (nutno měnit podle měřidla)	0,05 mgon

Stanovení kombinované nejistoty dle vzorce 2.1:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

$$u_c = \sqrt{1,7^2 + 0,23^2}$$

$$\mathbf{u_c = 1,7\ mgon}$$

$$u_c = \sqrt{1,2^2 + 0,23^2}$$

$$\mathbf{u_c = 1,2\ mgon}$$

Stanovení rozšířené nejistoty dle vzorce 2.2:

$$U = k \times u_c$$

$$U = 2 \times 1,7$$

$$\mathbf{U = 3,4\ mgon}$$

$$U = k \times u_c$$

$$U = 2 \times 1,2$$

$$\mathbf{U = 2,4\ mgon}$$

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $K = 2$ , který při normálním rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4 /02.

## 6 KALIBRAČNÍ POSTUP-ELEKTROOPTICKÉ DÁLKOMĚRY

### 6.1 Předmět kalibrace

Totální stanice je geodetický přístroj vybavený dálkoměrem, který zároveň umožňuje měřit kromě vodorovných směrů a zenitových úhlů i délky.

Tento kalibrační postup se vztahuje na kalibraci dálkoměru totální stanice. Kalibrace totální stanice se skládá z kalibrace délek i úhlů. Jednalo se tedy ve výsledku tedy o systémovou kalibraci, kdy se testuje celý systém, jelikož pro správnou funkčnost musí celý systém fungovat správně a souřadnice se počítají ze všech měřených hodnot.

### 6.2 Související normy a metrologické postupy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy
Vydána: 2.2009	a přidružené termíny (VIM)
ČSN ISO 17123-4 (730220)	Optika a optické přístroje-Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů-Část 4: Elektrooptické dálkoměry
ČSN EN ISO/IEC 17025	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří

### 6.3 Názosloví a definice

**Elektrooptický dálkoměr** – elektronický dálkoměr používající světlených vln k měření délek.

**Směrodatná odchylka** – kladná odmocnina rozptylu.

**Nejistota měření** – parametr související s výsledkem daného měření a charakterizující rozptyl hodnot.

**Adiční (součtová) konstanta** – Tato konstanta je tvořena ze dvou částí. První část je vzdálenost geometrického počátku měřené délky od vertikální osy přístroje. Druhá část konstanty je tvořen součtem všech konstantních systematických chyb, které jsou zapříčiněny různými druhy zpoždění signálů v elektrických obvodech přístroje i systematickou chybou měřeného časového intervalu či fázového rozdílu.



## 6.4 Prostředky potřebné pro kalibraci

- Totální stanice
- Odrazný hranol Leica
- Digitální teploměr, vlhkoměr a barometr
- 7krát třínožka
- Základna
- Etalon

## 6.5 Podmínky kalibrace

Před kalibrací je měřidlo temperováno na okolní podmínky.

### Délková základna Krásné pole

- teplota prostředí: 2,3 °C
- změna teploty vzduchu za 1 hodinu: max. 0,5 °C
- relativní vlhkost vzduchu: max. 59 %
- atmosférický tlak 996 Pa
- -5,2 ppm

## 6.6 Rozsah kalibrace

Kalibrace přístroje dálkoměru totální Leica 1203+ probíhala v jeden den na měřičské základně Krásné pole. Cílem bylo zajistit výslednou adiční konstantu pro délky do 251 m.

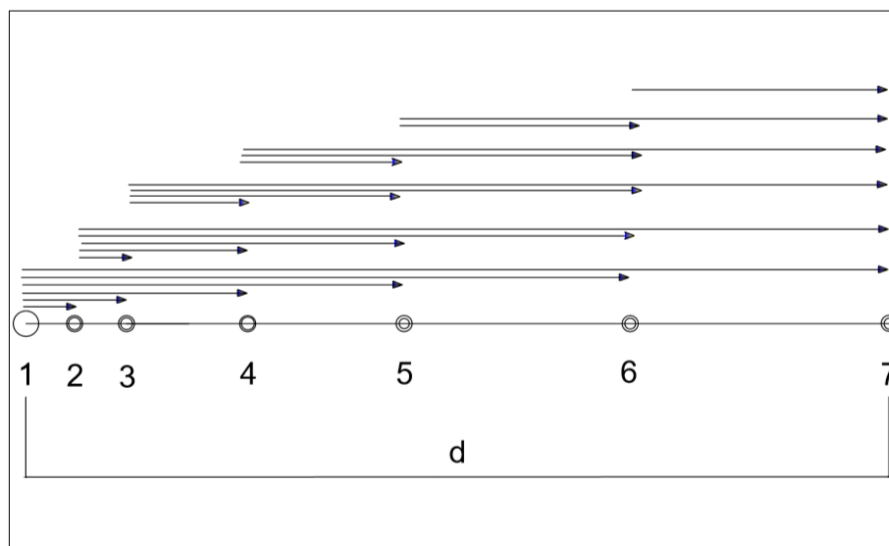
## 6.7 Postup kalibrace

### 6.7.1 Testování délek

Podle normy ČSN 17123-4 (*Optické přístroje-Terénní zkoušky*). Tato norma popisuje postupy pro testování, ověřování a vyhodnocování přesnosti geodetických přístrojů. Popisuje dva terénní postupy zkoušení.

- Zjednodušený test
- Úplný test

**Zjednodušený test** se zakládá na omezeném počtu měření a konfiguraci testovacího pole, neposkytuje tedy směrodatnou odchylku. Pro provedení zjednodušeného testu je třeba použít testovací pole o známých vzdálenostech, nebo v případě, není-li možné vzdálenosti určit přesnějším kalibrovaným přístrojem. Testovací pole tvoří jedno stanoviště a čtyři trvale stabilizované cíle. Každá vzdálenost je měřena nejméně třikrát, z nichž je vypočítán průměr. ( $x_1, x_2, x_3 \dots$ ). Pro lepší dosažení výsledků se zavádí atmosférické korekce. Pro naše účely byl zvolen **úplný test**. Tento postup ověřuje vnitřní přesnost dálkoměru a není potřeba znát nominální hodnoty, přestože nám byly známy. Konfigurace zkušebního pole při úplném testu je přímka o sedmi bodech v přibližně stejné horizontální rovině. Měření probíhá v jeden den a měří se všech 21 vzdáleností (*Obr.9*) (*Tab.6*). Opět je nutné zavádět atmosférické korekce. Nominální délky měřické základny jsou uvedeny v tabulce. (*Tab.6*) [6]



Obr. 11 Měření délek-schéma

Tab. 10 Etalon-Nominální délky základny Krásné pole

ETALON						
Délková základna Krásné Pole BMZ-13						
Vodorovné délky mezi pilíři [mm]						
	2	3	4	5	6	7
1	14,06345	33,00155	64,97959	109,02065	177,94001	251,62537
2		18,93810	50,91615	94,95720	163,87656	237,56192
3			31,97805	76,01910	144,93846	218,62382
4				44,04106	112,96041	186,64577
5					68,91936	142,60472
6						73,68536

### 6.7.1.1 Postup měření

Testování délek na měřické základně proběhlo dne 04. 12. 2019. Princip měření spočíval v zaměření délek ze všech 7 bodů ve všech kombinacích. Na počátku měření byly z betonových pilířů sejmuty ochranné kryty. Jelikož bylo měření prováděno v terénu, bylo nutné přístroj nechat temperovat na aktuální teplotu a změřit hodnoty pro atmosférické korekce (teplota, tlak a vlhkost vzduchu). Dále byly na všechny pilíře ustanoveny trojnožky, které na nich zůstaly po celou dobu testování. Měření začalo na prvním pilíři, kde byl stabilizován přístroj a na druhý pilíř upevněn odrazný hranol. Princip měření spočíval v tom, že byla zaměřena vždy délka jednotlivých úseků 1-2, 1-3 až 1-7. Když byl bod č. 2 změřen, pomocník přenesl hranol na bod č. 3 až 7. Každý úsek byl změřen 5krát. Poté byl přístroj přenesen a upevněn druhý bod a změřeny délky 2-3, 2-4 až 2-7. Tento postup se opakoval až na bod č. 6, kde byl změřen úsek 6-7 a měření bylo ukončeno. Tento postup nám zaručil, že byly změřeny všechny délky ve všech 21 kombinacích.

### 6.7.1.2 Výpočet

Výpočet se liší od výpočtu udávaného normou. Důvodem je nestejná délka kalibrační základny. Vyhodnocení probíhá porovnáním výsledků získaných kalibrovanou totální stanicí Leica TS30 (*Kalibrační list je součástí příloh – Příloha 2*). Délky naměřené přístrojem TS30 byly před porovnáním opraveny o konstanty, zjištěné při kalibraci, Jelikož každá délka byla měřena 5krát, byl z těchto hodnot proveden průměr  $d$ .

Průměr délek se spočítá dle vzorce:

$$d = \sum_{i=1}^3 d'_i \quad (6.1)$$

Kde: –  $d'_i$  – měřená vodorovná délka

Oprava naměřené délky přístrojem TS30.

$$d_{opravená} = d_{měřená} + 0,0003 + \frac{0,0007}{600} \times d_{měřená} \quad (6.2)$$

Dále spočítáme rozdíl průměrné a opravené délky naměřené přístrojem TS30 (*a rozdíl průměrné a nominální délky etalonu BMZ13*)

$$v = d_{měřená} - d_{opravená} \quad (6.3)$$

Kde:

Doplňková adiční konstanta	+0,3 mm
Doplňková násobná konstanta	+0,7 mm/600 m

Hodnoty naměřené námi testovanou totální stanicí TCR1203+, včetně opravených délek a porovnání s totální stanicí TS30, jsou zapsány v následující tabulkách (*Tab. 7*) (*Tab. 8*) (*protokol měření je součástí příloh*)

Tab. 11 Naměřené hodnoty TCR1203

	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d$
<b>1-2</b>	14,0605	14,0602	14,0606	14,0607	14,0606	<b>14,0605</b>
<b>1-3</b>	33,0000	33,0002	33,0002	33,0002	33,0002	<b>33,0002</b>
<b>1-4</b>	64,9810	64,9812	64,9811	64,9811	64,9811	<b>64,9811</b>
<b>1-5</b>	109,0167	109,0169	109,0169	109,0167	109,0169	<b>109,0168</b>
<b>1-6</b>	177,9382	177,9384	177,9387	177,9384	177,9385	<b>177,9384</b>
<b>1-7</b>	251,6263	251,6265	251,6264	251,6262	251,6263	<b>251,6263</b>
<b>2-3</b>	18,9406	18,9405	18,9405	18,9406	18,9405	<b>18,9405</b>
<b>2-4</b>	50,9210	50,9211	50,9213	50,9210	50,9212	<b>50,9211</b>
<b>2-5</b>	94,9572	94,9571	94,9571	94,9571	94,9570	<b>94,9571</b>
<b>2-6</b>	163,8782	163,8787	163,8785	163,8786	163,8788	<b>163,8786</b>
<b>2-7</b>	237,5667	237,5670	237,5667	237,5670	237,5670	<b>237,5669</b>
<b>3-4</b>	31,9813	31,9813	31,9813	31,9812	31,9813	<b>31,9813</b>
<b>3-5</b>	76,0173	76,0173	76,0170	76,0172	76,0173	<b>76,0172</b>
<b>3-6</b>	144,9385	144,9389	144,9387	144,9388	144,9385	<b>144,9387</b>
<b>3-7</b>	218,6269	218,6271	218,6271	218,6266	218,6273	<b>218,6270</b>
<b>4-5</b>	44,0364	44,0365	44,0365	44,0364	44,0364	<b>44,0364</b>
<b>4-6</b>	112,9583	112,9583	112,9584	112,9585	112,9584	<b>112,9584</b>
<b>4-7</b>	186,6465	186,6464	186,6463	186,6466	186,6463	<b>186,6464</b>
<b>5-6</b>	68,9221	68,9224	68,9223	68,9223	68,9224	<b>68,9223</b>
<b>5-7</b>	142,6105	142,6105	142,6107	142,6103	142,6105	<b>142,6105</b>
<b>6-7</b>	73,6892	73,6890	73,6890	73,6893	73,6891	<b>73,6891</b>

Tab. 12 Porovnání TS30 a výsledné odchylky

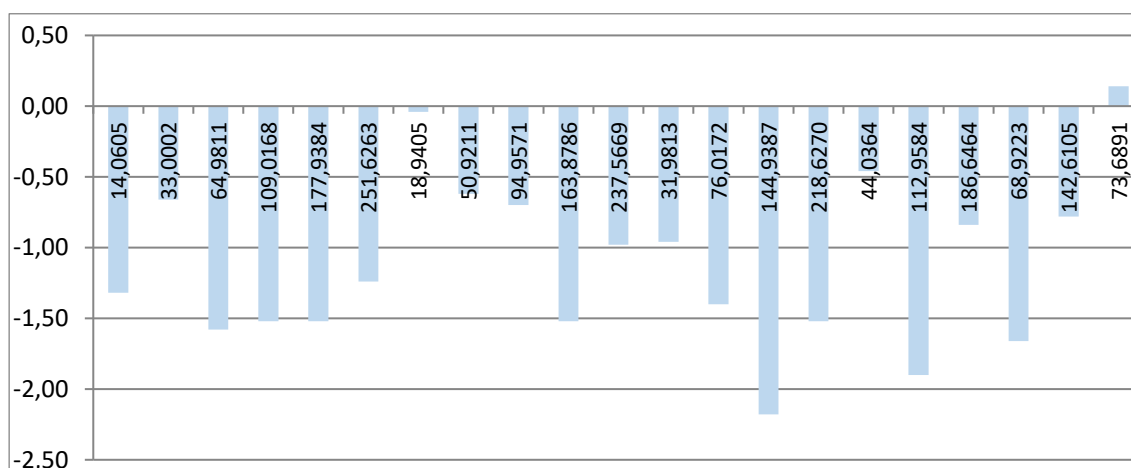
<i>BMZ13</i>	<i>TS30</i>		
<i>v[mm]</i>	<i>d<sub>opravená</sub></i>	<i>v[mm]</i>	<i>d<sub>měřená</sub></i>
2,9	14,0595	-1,32	14,0592
1,4	32,9998	-0,66	32,9995
-1,5	64,9799	-1,58	64,9795
3,8	109,0157	-1,52	109,0153
1,6	177,9365	-1,52	177,9360
-1,0	251,6257	-1,24	251,6251
-2,4	18,9408	-0,04	18,9405
-5,0	50,9209	-0,62	50,9205
0,1	94,9568	-0,70	94,9564
-2,0	163,8775	-1,52	163,8770
-5,0	237,5665	-0,98	237,5659
-3,2	31,9807	-0,96	31,9803
1,9	76,0162	-1,40	76,0158
-0,2	144,9370	-2,18	144,9365
-3,2	218,6260	-1,52	218,6255
4,6	44,0363	-0,46	44,0360
2,0	112,9569	-1,90	112,9565
-0,7	186,6461	-0,84	186,6456
-2,9	68,9210	-1,66	68,9206
-5,8	142,6102	-0,78	142,6097
-3,8	73,6896	0,14	73,6893

## 6.7.2 Vyhodnocení kalibrace

Přesnost přístroje  $\sigma_d = 1\text{ mm} + 1,5\text{ ppm}$

Tab. 13 Výsledky kalibrace dálkoměru

Adiční konstanta	-1,1 mm
Nejistota typu A	0,1 mm
Nejistota typu B	0,3 mm
Kombinovaná nejistota	0,3 mm



Graf 1 Porovnání odchylek přístroje TCR1203+ a TS30

V grafu č. 1 jsou znázorněny odchylky naměřených délek přístrojem TCR1203+ a opravených délek přístroje TS30. Nevětší odchylka byla zjištěna u délky 3-6 a to **2,18 mm**.

Z tabulky (Tab. 11) vyplývá, že z průměru odchylek byla zjištěna adiční konstanta = **-1,1 mm**. Z průměru měřených hodnot nejistota typu **A = 0,1 mm**. Nejistota typu **B = 0,3 mm**, která byla tvořena: nejistotou centrace a horizontace přístroje (0,1 mm), odrazného hranolu (0,1mm) a ½ nejmenší hodnoty odečtu (0,05 mm). (Tab. 12)

Vyhodnocení kalibrace je obsaženo v kalibračních listech (Příloha 4)

Tab. 14: Zdroje nejistot – testování dálkoměrů

Zdroj nejistoty	Standardní nejistoty	Pravděpodobnostní rozdělení	Citlivostní koeficient	Příspěvek k součtové části nejistoty	Příspěvek k násobné části nejistoty
				[mm]	[mm/m]
Součtová část nejistoty etalonu	0,15 [mm]	normální	1	0,3	
Násobná část nejistoty etalonu	0,1 [mm]	normální	1		0,1
Nejistota centrace a horizontce měř. přístroje	0,1 [mm]	normální	1	0,1	
Nejistota centrace a horizontce odraz. hranolu	0,1 [mm]	normální	1	0,1	
Nejistota měřidla teploty vzduchu	0,24 [°C]	normální	0,924		0,001
Variace teploty vzduchu v dráze měřicího paprsku	0,5 [°C]	normální	0,924		0,0005
Nejistota měřidla atmosférického tlaku	0,5 [hPa]	normální	0,271		0,0001
<i>½ nejmenší hodnoty odečtu (nutno měnit podle měřidla)</i>	0,05 [mm]	normální	1	0,05	
<b>Standardní nejistota typu B</b>				<b>0,3</b>	<b>0,1</b>

### 6.7.3 Stanovení nejistoty

Stanovení kombinované nejistoty dle vzorce 2.1:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

$$u_c = \sqrt{0,1^2 + 0,3^2}$$

$$\mathbf{u_c = 0,3 \text{ mm}}$$

Stanovení rozšířené nejistoty dle vzorce 2.2:

$$U = k \times u_c$$

$$U = 2 \times 0,3$$

$$\mathbf{U = 0,6 \text{ mm}}$$

Rozšířená nejistota v určení adiční konstanty je **U = 0,6 mm**.

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $K = 2$ , který při normálním rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4 /02.

## 7 KALIBRAČNÍ POSTUP-NIVELAČNÍ PŘÍSTROJE

### 7.1 Předmět kalibrace

Kalibrační postup se vztahuje na kalibraci geodetických přístrojů – nivelační přístroje.

### 7.2 Související normy a metrologické postupy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy
Vydána: 2.2009	a přidružené termíny (VIM)
ČSN ISO 17123-4 (730220)	Optika a optické přístroje-Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů-Část 2: Nivelační přístroje
ČSN EN ISO/IEC 17025	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří

### 7.3 Názvosloví a definice

**Nivelační přístroj** – je geodetický přístroj které je používán pro tzv. nivelaci neboli výškové měření.

**Nivelace** – je vytyčování vodorovné roviny a měření výškových rozdílů v terénu pomocí nivelačního přístroje.

**Odchylka** – je hodnota veličiny mínus referenční hodnota dané veličiny.

**Směrodatná odchylka** – je kladná odmocnina rozptylu.

**Nejistota měření** – je parametr související s výsledkem daného měření a charakterizující rozptyl hodnot.

**Převýšení** – je rozdíl výšek dvou bodů, absolutních nebo relativních, vztažených k stejné hladinové ploše.



## **Prostředky potřebné pro kalibraci**

- Nivelační přístroj DNA03 (vč.344488)
- Teploměr, barometr, vlhkoměr
- Invarové měřítko s čárovým kódem
- Sada čárkových měřítek

## **7.4 Podmínky kalibrace**

Před kalibrací je měřidlo temperováno na okolní podmínky.

- Teplota prostředí: 20,5 °C

## **7.5 Rozsah kalibrace**

Kalibrace přístroje dálkoměru totální DNA 03 probíhala v jeden den v měřičské chodbě VŠB-TUO. Cílem postupu je výpočet parametrů převýšení. A výsledné nerovnosti záměrné přímky nivelačního přístroje při digitálním a optickém odečítání.

## **7.6 Postup kalibrace**

### **7.6.1 Testování nivelačních přístrojů**

Postup kalibrace nivelačních přístrojů udává norma ČSN 17123-2 (Optické přístroje-Terénní zkoušky). Výsledky testování jsou ovlivněny meteorologickými podmínkami, zejména teplotou, větrnými podmínkami a množstvím slunečního záření. Zatažená obloha a nízká rychlost větru zaručují nejpříznivější podmínky testování. Veškeré meteorologické podmínky je třeba vzít v úvahu při výsledném zhodnocování měření. Zásadní vliv má i typ povrchu, nad kterým se měření provádí. Nejvhodnější prostředí pro testování nivelačních přístrojů poskytují laboratorní testy, které nejsou atmosférickými vlivy téměř ovlivněny, proto jsou nedílnou součástí ověření správné funkce nivelačních přístrojů. Zmíněná norma popisuje postupy pro testování, ověřování a vyhodnocování přesnosti nivelačních přístrojů. Stejně jako u testování teodolitů a dálkoměrů popisuje dva terénní postupy zkoušení.

- Zjednodušený test
- Úplný test

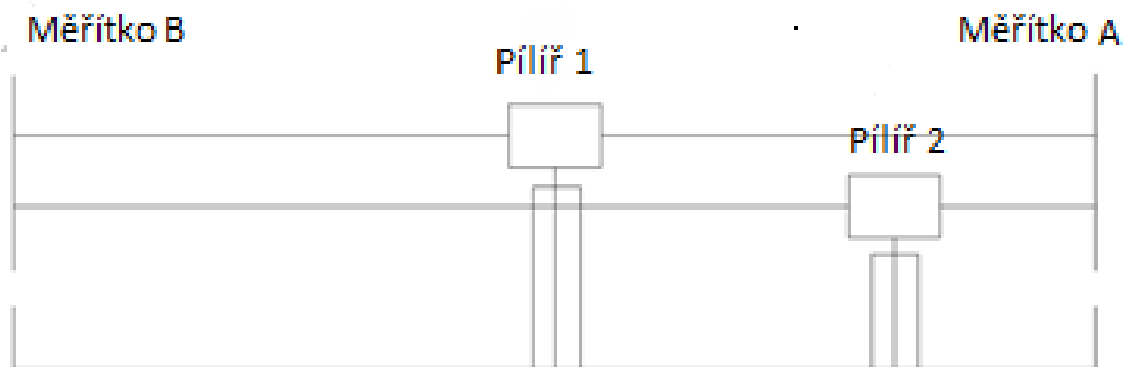
**Zjednodušený test** poskytuje odhad toho, zda přesnost daných vyrovnávacích zařízení je v rámci stanovené povolené odchylky podle ISO 4463-1. a je obvykle určen ke kontrole přesnosti optických nivelačních přístrojů. Zjednodušený postup je založen na omezeném počtu měření, proto tímto testem nemůžeme dosáhnout významné směrodatné odchylky. Postup se zakládá na stanovení výškového rozdílu mezi dvěma body, vzdálenými přibližně 60 m. Výsledek nám udává, zda námi vypočtená odchylka odpovídá stanovené povolené odchylce pro dané měření. **Úplný test** je převážně určen pro polní zkoušky se zvýšenou přesností. Doporučená délka záměry by měla být 30 m. Vzdálenosti delší než 30 m mohou být přijaty pro tuto zkoušku přesnosti při použití požadované specifikací projektu nebo chceme určit rozsah míry přesnosti přístroje v příslušné vzdálenosti. [4]

#### *7.6.1.1 Postup měření*

Testování nivelačního přístroje DNA 03 proběhlo dne 17. 12. 2019 v měřičské chodbě VŠB-TUO. Přístroj byl umístěn na prostřední pilíř a temperován na okolní teplotu. Měření bylo provedeno ve dvou sériích. Následně bylo určeno 10 hodnot mezi jednotlivými měřítky pro optické i digitální čtení (*Obr. 14*). *Kalibrační listy jsou součástí příloh-Příloha 5,6*) Před každým zaměřením jednotlivého převýšení byla provedena změna horizontu přístroje pootočení stavěcích šroubů. Dále byl přístroj umístěn na krajní pilíř a postup opakován. Poté byla stejným způsobem zaměřena druhá série. (*Obr. 15*) Hodnoty byla zapisovány do zápisníku.



*Obr. 12 Detail měříte*



Obr. 13 Schéma nivelačního měření

### 7.6.1.2 Výpočet

Výpočet opět probíhal v souladu s normou a byl proveden v programu Excel.

Nejdříve je nutné spočítat rozdíl ( $d_j$ ) mezi měřením vzad a vpřed

$$d_j = x_{Bj} - x_{Aj}; j = 1 \dots, 40 \quad (7.1)$$

Poté dle vzorce byl vypočítat aritmetický průměr rozdílů ( $d_j$ ). Nejdříve první ( $\bar{d}_1$ ) a následně druhé série ( $\bar{d}_2$ ).

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{20} d_j}{20} \quad (7.2)$$

$$\bar{d}_2 = \frac{\sum_{j=1}^{20} d_j}{20} \quad (7.3)$$

Z těchto aritmetických průměrů obou sérií lze spočítat rozdíl, který nemá žádný vliv na směrodatnou odchylku, ale je to indikátor rozdílu v nulovém bodě (*zero-point*) a je nutný pro výpočet statistického testu.

$$\delta = \bar{d}_1 - \bar{d}_2 \quad (7.4)$$

Opravy ( $r_j$ ) se počítají dle vzorce.

$$r_j = \bar{d}_1 - d_j; j = 1 \dots, 20 \quad (7.5)$$

$$r_j = \bar{d}_2 - d_j; j = 1 \dots, 20 \quad (7.6)$$

Podmínkou výpočtu je suma zbytků jednotlivých sad, musí být rovna 0.

$$\sum_{j=1}^{20} r_j = 0 \quad (7.7)$$

$$\sum_{j=1}^{20} r_j = 0 \quad (7.8)$$

$$\sum_{j=1}^{40} r_j^2 = \sum_{j=1}^{20} r_j^2 + \sum_{j=1}^{40} r_j^2 \quad (7.9)$$

Počet stupňů volnosti jsme spočítali dle normy následujícím způsobem:

$$v = 2 \times (20 - 1) = 38 \quad (7.10)$$

Z toho vyplývá, že výběrová směrodatnou odchylku lze spočítat dle vzorce:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{38}} \quad (7.11)$$

Směrodatná odchylka pro 1 km obousměrné nivelace ( $s_{ISO-LEV}$ )

$$s_{ISO-LEV} = \frac{s}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{1000 \text{ m}}{\text{Délka nivelační sestavy}}} \quad (7.12)$$

**Elektronické čtení:**

Tab. 15 Elektronické čtení 1. série

<i>1.série</i>					
	$x_{Aj}$ [mm]	$x_{Bj}$ [mm]	$d_j$ [mm]	$r_j$ [mm]	$r_j^2$ [mm]
1	0,04111	0,21603	0,17492	0,15	0,02
2	0,04106	0,21604	0,17498	0,09	0,01
3	0,04110	0,21601	0,17491	0,16	0,02
4	0,04050	0,21600	0,17550	-0,43	0,19
5	0,04104	0,21598	0,17494	0,13	0,02
6	0,04030	0,21589	0,16659	-0,52	0,27
7	0,04078	0,21583	0,17505	0,02	0,00
8	0,03903	0,21401	0,17498	0,09	0,01
9	0,03900	0,21395	0,17495	0,12	0,01
10	0,03891	0,21394	0,17503	0,04	0,00
11	0,04721	0,22224	0,17503	0,04	0,00
12	0,04724	0,22224	0,17500	0,07	0,00
13	0,04722	0,22226	0,17504	0,03	0,00
14	0,04696	0,22211	0,17515	-0,08	0,01
15	0,04690	0,22195	0,17505	0,02	0,00
16	0,04714	0,22221	0,17507	0,00	0,00
17	0,04713	0,22216	0,17503	0,04	0,00
18	0,04699	0,22209	0,17510	-0,03	0,00
19	0,04695	0,22206	0,17511	-0,04	0,00
20	0,04715	0,22206	0,17491	0,16	0,02
$\bar{x}$	<b>0,04369</b>	<b>0,21875</b>	<b>0,17507</b>		
$\Sigma$	<b>0,87630</b>	<b>4,37778</b>	<b>3,50149</b>	<b>-0,14</b>	<b>1,2</b>

Tab. 16. Elektronické čtení 2. série

2. série					
	$x_{Aj}$ [mm]	$x_{Bj}$ [mm]	$d_j$ [mm]	$r_j$ [mm]	$r_j^2$ [mm]
1	0,03888	0,21389	0,17501	0,11	0,01
2	0,03882	0,21383	0,17501	0,11	0,01
3	0,03874	0,21377	0,17503	0,09	0,01
4	0,03858	0,21355	0,17497	0,15	0,02
5	0,03853	0,21354	0,17501	0,11	0,01
6	0,03852	0,21352	0,17770	-2,58	6,67
7	0,03843	0,21342	0,17499	0,13	0,02
8	0,03864	0,21359	0,17495	0,17	0,03
9	0,03854	0,21354	0,17500	0,12	0,01
10	0,03849	0,2135	0,17501	0,11	0,01
11	0,04723	0,2224	0,17517	-0,05	0,00
12	0,04713	0,22216	0,17503	0,09	0,01
13	0,04720	0,22212	0,17492	0,20	0,04
14	0,04688	0,22198	0,17510	0,02	0,00
15	0,04704	0,22196	0,17492	0,20	0,04
16	0,04685	0,22183	0,17498	0,14	0,02
17	0,04768	0,22187	0,17419	0,93	0,86
18	0,04716	0,22223	0,17507	0,05	0,00
19	0,04688	0,22199	0,17511	0,01	0,00
20	0,04682	0,22199	0,17517	-0,05	0,00
$\bar{x}$	<b>0,04285</b>	<b>0,21783</b>	<b>0,17498</b>		
$\Sigma$	<b>0,86101</b>	<b>4,36062</b>	<b>3,49961</b>	<b>0,02</b>	<b>0,75</b>

Rozdíl

aritmetických průměrů obou sérií:

$$\delta = \bar{d}_1 - \bar{d}_2$$

$$\delta = \mathbf{0,008\ mm}$$

Výsledná směrodatná odchylka (dle 7.32)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{38}} = \mathbf{0,19 \text{ mm}}$$

$$s_{ISO-LEV} = \frac{s}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{1000 \text{ m}}{14,637 \text{ m}}}$$

$$s_{ISO-LEV} = \mathbf{1,11 \text{ mm}}$$

### Statistický test (Otázka a)

Statistický test nám říká, zda je vypočtená směrodatná odchylka menší než hodnota  $\sigma$  stanovená výrobcem nebo menší než jiná předem určená hodnota  $\sigma$ .

**Nulová hypotéza**

$$s \leq \sigma$$

**Alternativní hypotéza**

$$s > \sigma$$

Hypotéza není odmítnuta, pokud jsou splněny tyto podmínky:

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2 - \alpha(v)}{v}} \quad (7.13)$$

Vypočtená hodnota je porovnávána s jednostranným testem za pomoci kritické hodnoty pro dané stupně volnosti  $v = 38$ , kde hladina významnosti je 5 %.

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2 - (38)}{38}}$$

$$\chi_{0,95}^2(38) = 53,38$$

$$s \leq 0,3 \times \sqrt{\frac{53,38}{38}}$$

$$s_{ISO-LEV} \leq \mathbf{0,36 \text{ mm}}$$

$$1,11 \text{ mm} > 0,36 \text{ mm} - \text{podmínka nesplněna}$$

Z testu vyplývá, že nulová hypotéza byla zamítnuta, což znamená že měření neodpovídá základní směrodatné odchylce zadané výrobcem na hladině významnosti  $\alpha = 5 \%$ .

**(Otázka c)**

**Nulová hypotéza**

$$\delta = 0$$

**Alternativní hypotéza**

$$\delta \neq 0$$

Hypotéza rovnosti průměrných hodnot  $\bar{d}_1$  a  $\bar{d}_2$  je přijata, pokud je splněna následující podmínka.

$$|\delta| \leq s_\delta \times t_{1-\alpha/2}(v)$$

$$|\delta| \leq s_\delta \times t_{0,975}(38)$$

$$|\delta| = \frac{s}{\sqrt{10}}$$

$$t_{0,975}(38) = 2,02$$

$$|\delta| = \frac{s}{\sqrt{10}} \times 2,02$$

$$\leq s \times 0,64$$

$$s = 0,2 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,00008 \text{ mm}$$

$$0,00008 \leq 0,2 \times 0,64$$

$$0,00008 \leq 0,13 - \text{podmínka splněna}$$



**Optické čtení:**

Tab. 17. Optické čtení 1. série

<b>1. série</b>					
	$x_{Aj}$ [mm]	$x_{Bj}$ [mm]	$d_j$ [mm]	$r_j$ [mm]	$r_j^2$ [mm]
1	20,9	186,9	166,0	0,40	0,16
2	20,9	186,8	165,9	0,50	0,25
3	20,8	186,9	166,1	0,30	0,09
4	20,6	186,6	166,0	0,40	0,16
5	20,7	186,6	165,9	0,50	0,25
6	20,5	186,4	165,9	0,50	0,25
7	20,2	186,3	166,1	0,29	0,09
8	18,8	185,0	166,2	0,20	0,04
9	18,5	184,5	166,0	0,40	0,16
10	18,5	184,5	166,0	0,40	0,16
11	26,1	192,9	166,8	-0,41	0,16
12	26,1	192,9	166,8	-0,41	0,16
13	26,0	192,9	166,9	-0,50	0,26
14	25,9	192,8	166,9	-0,50	0,26
15	26,0	192,5	166,5	-0,10	0,01
16	26,1	192,9	166,8	-0,41	0,16
17	26,0	192,9	166,9	-0,50	0,26
18	26,1	192,8	166,7	-0,31	0,09
19	26,0	192,8	166,8	-0,41	0,16
20	26,2	192,9	166,7	-0,31	0,09
$\bar{x}$	<b>23,0</b>	<b>189,4</b>	<b>166,4</b>		
$\Sigma$	<b>463,1</b>	<b>3791,3</b>	<b>3328,3</b>	<b>0</b>	<b>3,19</b>

Tab. 18 Optické čtení 2. série

2. série					
	$x_{Aj}$ [mm]	$x_{Bj}$ [mm]	$d_j$ [mm]	$r_j$ [mm]	$r_j^2$ [mm]
1	18,5	184,1	165,6	0,63	0,40
2	18,2	184,0	165,8	0,43	0,18
3	18,1	184,0	165,9	0,33	0,11
4	18,0	183,9	165,9	0,33	0,11
5	18,0	183,8	165,8	0,43	0,18
6	18,0	183,9	165,9	0,33	0,11
7	18,0	184,5	166,5	-0,27	0,07
8	18,1	183,9	165,8	0,43	0,18
9	18,0	183,9	165,9	0,33	0,11
10	18,0	183,8	165,8	0,43	0,18
11	26,5	192,9	166,4	-0,17	0,03
12	26,1	192,9	166,8	-0,57	0,32
13	26,0	192,9	166,9	-0,67	0,45
14	26,1	192,5	166,4	-0,17	0,03
15	26,0	192,6	166,6	-0,37	0,14
16	25,9	192,3	166,4	-0,17	0,03
17	26,0	192,5	166,5	-0,27	0,07
18	26,1	192,9	166,8	-0,57	0,32
19	26,0	192,4	166,4	-0,17	0,03
20	26,0	192,5	166,5	-0,27	0,07
$\bar{x}$	22,1	188,3	166,23		
$\Sigma$	445,2	3770,4	3325,23	0	3,14

Rozdíl aritmetických průměrů obou sérií:

$$\delta = \bar{d}_1 - \bar{d}_2$$

$$\delta = \mathbf{0,17\ mm}$$

Výsledná směrodatná odchylka (dle 7.32)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{38}} = \mathbf{0,41\ mm}$$

$$s_{ISO-LEV} = s_{ISO-LEV} = \frac{s}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{1000\ m}{14,637\ m}}$$

$$s_{ISO-LEV} = \mathbf{2,40\ mm}$$

**Statistický test (Otázka a)**

**Nulová hypotéza**

**Alternativní hypotéza**

$$s \leq \sigma$$

$$s > \sigma$$

Hypotéza není odmítnuta, pokud jsou splněny tyto podmínky:

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2 - \alpha(v)}{v}} \quad (5.11)$$

Vypočtená hodnota je porovnána s jednostranným testem za pomoci kritické hodnoty pro dané stupně volnosti  $v = 38$ , kde hladina významnosti je 5 %.

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2 - (38)}{38}}$$

$$\chi_{0,95}^2(38) = 53,38$$

$$s \leq 0,3 \times \sqrt{\frac{53,38}{38}}$$

$$s_{ISO-LEV} \leq \mathbf{1,18\ mm}$$

$$2,40\ mm > 1,18\ mm - \text{podmínka nesplněna}$$

Z testování vyplývá, že nulová hypotéza byla zamítnuta, což znamená, že měření neodpovídá základní směrodatné odchylce zadané výrobcem na hladině významnosti  
 $\alpha = 5 \%$ .

**(Otázka c)**

**Nulová hypotéza**

$$\delta = 0$$

**Alternativní hypotéza**

$$\delta \neq 0$$

Hypotéza rovnosti průměrných hodnot  $\bar{d}_1$  a  $\bar{d}_2$  je přijata, pokud je splněna následující podmínka.

$$|\delta| \leq s_\delta \times t_{1-\alpha/2}(v)$$

$$|\delta| \leq s_\delta \times t_{0,975}(38)$$

$$|\delta| = \frac{s}{\sqrt{10}}$$

$$t_{0,975}(38) = 2,02$$

$$|\delta| = \frac{s}{\sqrt{10}} \times 2,02$$

$$\leq s \times 0,64$$

$$s = 0,4 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,17 \text{ mm}$$

$$0,17 \leq 0,2 \times 0,64$$

$$0,17 \leq 0,0,26 - \text{podmínka splněna}$$

## 7.6.2 Vyhodnocení kalibrace

**Elektronické čtení:**

Tab. 19 Výsledky kalibrace nivelačního přístroje-Elektronické čtení

<b>Nevodorovnost záměrné přímky</b>	<b>0,008 mm/m</b>
Nejistota typu A	0,19 mm
Nejistota typu B	0,058 mm
Kombinovaná nejistota	0,20 mm
Rozšířená nejistota	0,40 mm

Z tabulky (Tab. 16) vyplývá, že z rozdílu měření na různých dvou bodech byla zjištěna nevodorovnost záměrné přímky **0,008 mm/m**. Dále byla zjištěna nejistota typu **A = 0,19 mm** a nejistota typu **B = 0,058 mm** (Viz Tab. 18). Rozšířená nejistota v určení nevodorovnosti záměrné přímky nivelačního přístroje při elektronickém odečítání je **0,40 mm/m**

### Optické čtení:

Tab. 20 Výsledky kalibrace nivelačního přístroje-Optické čtení

<b>Nevodorovnost záměrné přímky</b>	<b>0,015 mm/m</b>
Nejistota typu A	0,41 mm
Nejistota typu B	0,25 mm
Kombinovaná nejistota	0,48 mm
Rozšířená nejistota	0,97 mm

Z tabulky (Tab. 17) vyplývá, že z rozdílu měření na dvou různých bodech byla zjištěna nevodorovnost záměrné přímky **0,015 mm/m**. Dále byla zjištěna nejistota typu **A = 0,41 mm** a nejistota typu **B = 0,25 mm**. (Viz Tab. 18) Rozšířená nejistota v určení nevodorovnosti záměrné přímky nivelačního přístroje při optickém odečítání je **0,97 mm/m**.

## 7.6.3 Stanovení nejistoty

Stanovení kombinované nejistoty optického i elektronického čtení dle vzorce 2.1:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

$$u_c = \sqrt{0,19^2 + 0,058^2}$$

$$\mathbf{u_c = 0,20 \text{ mm}}$$

$$u_c = \sqrt{0,41^2 + 0,25^2}$$

$$\mathbf{u_c = 0,48 \text{ mm}}$$

Stanovení rozšířené nejistoty dle vzorce 2.2:

$$U = k \times u_c$$

$$U = 2 \times 0,20$$

$$\mathbf{U = 0,40 \text{ mm}}$$

$$U = k \times u_c$$

$$U = 2 \times 0,48$$

$$\mathbf{U = 0,97 \text{ mm}}$$

Tab.21 Zdroje nejistot – testování nivelačních přístrojů

Zdroj nejistoty	Standardní nejistoty	Pravděpodobnostní rozdělení	Citlivostní koeficient	Příspěvek k součtové části nejistoty	Příspěvek k násobné části nejistoty
				[mm]	[mm/m]
Nejistota etalonu niv. přístroje	0,03 [mm/3]	normální	1		0,03
Nejistota etalonu měřítka 15299/1,2	0,02 [nm]	normální	1	$2 \cdot 10^{-4}$	
Nejistota etalonu měřítka 15299/2	0,02 [nm]	normální	1	$2 \cdot 10^{-4}$	
Nejistota etalonu měřítka 8086	0,55 [nm]	normální	1	$5,5 \cdot 10^{-4}$	
Nejistota etalonu měřítka 8087	0,055 [nm]	normální	1	$5,5 \cdot 10^{-4}$	
½ nejmenší hodnoty odečtu	0,25 [mm]	normální	1	0,25	
<b>Standardní nejistota typu B</b>				0,25	0,03

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $K = 2$ , který při normálním rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4 /02.

## 9 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝH VÝSLEDKŮ

### 9.1 Testování teodolitu

Vertikální uhly byly testovány v kalibrační laboratoři v budově Vysoké školy báňské. Postup ověřování vycházel z normy Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 3: Teodolity a zvolen byl úplný test. Pro výpočet byla použita metoda nejmenší čtverců. Zhodnocení výsledných hodnot bylo pomocí statistických test.

**Z testu A za pomoci Chí-kvadrát rozdělení bylo zjištěno, že testovaný přístroj vyhověl směrodatné odchylce dané výrobcem.** Statistický test Fisherova rozdělení nebyl prováděn, jelikož naše výsledky pocházely pouze z jedné série ve stejném čase.

Měření horizontálních úhlů probíhalo na měřické pozorovatelně umístěné na střeše budovy Vysoké školy báňské. Opět byla dle normy použita metoda nejmenších čtverců.

**Podmínky pro splnění nulové hypotézy statistického testu A byly splněny, což znamenalo, že i zde výsledná směrodatná odchylka vyhovuje odchylce udávané výrobcem.**

Postupy testování vodorovných i svislých úhlů vycházely z normy. Tato norma stanovuje terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů. Výrobci měřických přístrojů se touto normou řídí při stanovení přesnosti vyráběných teodolitů, dálkoměrů, totálních stanic i nivelačních přístrojů. Zákon č. 505/1990 sb. o metrologii stanovuje porovnat měřidla s etalonem nebo jiným vhodným způsobem, to u postupů uváděných v normě, ale splněno není.

### 9.2 Testování dálkoměru

Přesnost dálkoměru byla testována na délkové měřičské základně Krásné Pole v areálu Planetária Ostrava. Postup testování vodorovných délek více odpovídal požadavkům kalibrace udávaným zákonem č. 505/1990 o metrologii, kde je požadována návaznost měřidel, neboť délková základna neodpovídala požadavkům normy ČSN ISO 17123-4: Elektrooptické dálkoměry. **Výsledné hodnoty dálkoměru totální stanice TCR1203+ byly porovnány s kalibrovanou totální stanicí Leica TS30. Adiční konstanta nepřekročila přesnost danou od výrobce.**



## **Testování nivelačního přístroje**

Nivelační přístroj DNA03 byl testován v měřičské chodbě VŠB-TUO. Postup kalibrace nivelačních přístrojů se opět řídil normou ČSN 17123-2- Nivelační přístroje. Čtení probíhalo elektronicky i opticky.

**Byl proveden statistický test A za pomoci Ch-kvadrát rozdělení, jehož podmínky nebyly splněny ani u jednoho čtení, tudíž přístroj nesplňoval přesnost danou výrobcem. Negativní výsledek mohl být způsoben krátkou záměrou A a B, proto mělo být provedeno testovaná pomocí nivelace v terénu, která však vzhledem k situaci nebyla uskutečněna. Naopak statistický test C podmínku splňoval, což znamená, že hypotéza o rovnosti korekce nulového bodu, byla přijata.**

## 10 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala testováním dvou geodetických přístrojů, a to konkrétně Leica 1203+ a nivelačního přístroje DNA03. Cílem práce bylo uskutečnit měření vertikálních směrů, horizontálních směrů, vodorovných délek a určit směrodatné odchylky těchto měřených veličin a provést ověření nivelačního přístroje.

Veškeré postupy testování i výpočty se opíraly o normu ČSN ISO 17123, dokument EA – 4/02 M:2013 a v neposlední řadě o zákon. č. 505/1990 sb. o metrologii.

Kalibrace horizontálních a vertikálních směrů byla provedena na měřičské pozorovatelně a v kalibrační laboratoři VŠB-TUO. Cílem bylo určit kolimační a indexovou chybu, a nakonec pomocí testů vyhodnotit, zda přesnost odpovídá přesnosti dané výrobcem. Délky byly testovány na měřičské základně Krásné Pole a výsledky byly vyhodnoceny porovnáním kalibrované totální stanice Leica TS30 s námi testovaným přístrojem. Cílem bylo ověřit, zda výsledná adiční konstanta nepřekročila přesnost udávanou výrobcem.

Nivelační přístroje byly testovány v měřičské chodbě VŠB-TUO a cílem bylo opět porovnat, zda námi vypočtená směrodatná odchylka odpovídá přesnosti stanovené výrobcem, dále proběhl výpočet nevodorovnosti záměrné přímký. Nivelační přístroj měl být původně testován také pomocí terénní zkoušky, spočívající v zaměření nivelačního pořadu v areálu VŠB-TUO, bohužel k vzhledem k vzniklé situaci, tyto zkoušky nebyly provedeny.

Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulek. Vyhodnocené výsledky byly taktéž zaznamenány do tabulek a výsledné hodnoty testování délek byly zobrazeny do grafu. Výsledky testování byly vyhodnoceny pomocí statistických testů a porovnány s požadovanou přesností udávanou výrobcem. Výsledné směrodatné odchylky a nejistoty měření jsou uvedeny na konci každého kalibračního postupu. Zhodnocení testování je uvedeno v závěru práce, kde jsou vyhodnoceny výsledky statistických testů a zda námi testované přístroje splňují stanovenou přesnost.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### Literatura:

- [1] BOHÁČEK, Jaroslav. Metrologie. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-06169-5.
- [2] RATIBORSKÝ, Jan. Geodézie: (měření). Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998dotisk. ISBN 80-01-01418-5
- [3] SKŘONTOVÁ, Lucie. Kalibrace vybraných totálních stanic. Ostrava, 2008. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [4] ŠINDELÁŘ, Václav a Zdeněk TŮMA. Metrologie: její vývoj a současnost. Praha: Česká metrologická společnost, 2002. Učební příručka ČMS

### Legislativa:

- [5] ČSN ISO 17 123. Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů. Část 2 – Nivelační přístroje. Praha: UNMZ, 2005
- [6] ČSN ISO 17 123. Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů. Část 3 - Teodolity. Praha: UNMZ, 2005
- [7] ČSN ISO 17 123. Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů. Část 4 - Elektrooptické dálkoměry. Praha: UNMZ, 2005
- [8] Dokument EA – 4/02 M:20 - Vyjádření nejistoty měření při kalibraci, 2014
- [9] ZÁKON č. 505/1990 Sb. Zákon o metrologii. Praha: ČR, 1990-2012

### Internetové zdroje:

- [10] ČESKY METROLOGICKÝ INSTITUT [online], 2020 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/pravni%20ramec%20metrologie>

- [11] DÉLKOVÁ ZÁKLADNA HVEZDA-ČT24 [online], 2020 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/ivysilani/10116288835-z-metropole/211411058230025/obsah/162223-geodeticka-delkova-zakladna-v-obore-hvezdae>
- [12] CHYBY A NEJISTOTY MĚŘENÍ [online], 2020 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1441/podzim2009/FY2BP\\_FM3/CHYBY\\_A\\_NEJISTOTY.pdf](https://is.muni.cz/el/1441/podzim2009/FY2BP_FM3/CHYBY_A_NEJISTOTY.pdf)
- [13] KALIBRAČNÍ ZÁKLADNY [online], 2020 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/odd25/odd25.html>
- [14] Leica DNA03/DNA10 User Manual [Online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <https://secure.fltgeosystems.com/uploads/tips/documents/39.pdf>
- [15] Leica TPS1200+ Series BROCHURE [Online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://secure.fltgeosystems.com/uploads/tips/documents/39.pdf>
- [16] Leica TPS1200+ „Plus” [Online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://secure.fltgeosystems.com/uploads/tips/documents/39.pdf>
- [17] METROLOGIE V KOSTCE [online], 2009 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: [https://www.unmz.cz/sborniky\\_th/sb2009/MvK\\_7\\_vidit\\_hypervazby\\_small.p](https://www.unmz.cz/sborniky_th/sb2009/MvK_7_vidit_hypervazby_small.p)
- [18] MODERNÍ PŘÍSTRPJOVÁ TECHNIKA [Online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://spszem.cz/storage/files/1364/Moderni-pristrojova-technika-TS-Niv-LS.pdf>
- [19] REZEK, Jakub. Testování přesnosti vybraných měřických přístrojů [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/119959>.
- [20] VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKA-HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA (ZÁZEMÍ KATEDRY) [online]. [cit.2020-03-20]. Dostupné z: [https://www.hgf.vsb.cz/544/cs/o-katedre/zazemi-katedry/.](https://www.hgf.vsb.cz/544/cs/o-katedre/zazemi-katedry/)

### **Fotografie a obrázky**

- [21] Geoserver.cz [online], 2020 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: [≤https://www.geoserver.cz/totalni-stanice/totalni-stanice/totalni\\_stanice\\_leica\\_flexline\\_ts06power-1062h>](https://www.geoserver.cz/totalni-stanice/totalni-stanice/totalni_stanice_leica_flexline_ts06power-1062h)
- [22] <https://grupoacre.es/> [online], 2020 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: [≤https://grupoacre.es/catalogo-productos/nivel-digital-precision-dna-03/>](https://grupoacre.es/catalogo-productos/nivel-digital-precision-dna-03/)
- [23] VYHLÁŠKA-Ministerstva průmyslu a obchodu [online], 2020 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: [≤https://www.cws-anb.cz/t.py?t=15&i=107/>](https://www.cws-anb.cz/t.py?t=15&i=107/)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Rozdělení metrologie.....	17
Obr. 2. Ověřovací značka .....	24
Obr. 3. Délková základna Koštice (Louny) .....	27
Obr. 4. Měření na délkové základna Krásné pole.....	28
Obr. 5. Nucená centrace na betonových pilířích.....	28
Obr. 6. Vnitřní pilíře pozorovatelný .....	29
Obr. 7. Měřická chodba .....	29
Obr. 8. Leica TCR 1203+ .....	30
Obr. 9. Přístroj Leica DNA03 .....	32
Obr. 10 Horizontální úhly-schéma.....	37
Obr. 11 VŠB-TUO budova A .....	37
Obr. 12 Vertikální úhly-schéma.....	42
Obr. 13 Měření délek-schéma.....	50
Obr. 14 Detail měřítek .....	58
Obr. 15 Schéma nivelačního měření.....	59

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Náplň tametrologie [3].....	16
Tab. 2 Technické parametry Leica TCR 1203 .....	31
Tab. 3 Technické parametry Leica DNA03 .....	33
Tab. 4 Naměřené hodnoty, opravy a kolimační chyby TCR1203+ .....	40
Tab. 5 Naměřené hodnoty, opravy a indexové chyby TCR1203+ .....	44
Tab. 6 Vyhodnocení kalibrace úhlů .....	46
Tab. 7 Stanovení nejistot – vodorovné úhly .....	46
Tab. 8 Stanovení nejistot – svislé úhly .....	46
Tab. 9 Zdroje nejistot – testování teodolitu .....	47
Tab. 10 Etalon-Nominální délky základny Krásné pole.....	50
Tab. 11 Naměřené hodnoty TCR1203 .....	52
Tab. 12 Porovnání TS30 a výsledné odchylky .....	53
Tab. 13 Výsledky kalibrace dálkoměru .....	54
Tab. 14: Zdroje nejistot – testování dálkoměrů .....	55
Tab. 15 Elektronické čtení 1. série .....	61
Tab. 16. Elektronické čtení 2. série .....	62
Tab. 17. Optické čtení 1. série .....	65
Tab. 18 Optické čtení 2. série .....	66
Tab. 19 Výsledky kalibrace nivelačního přístroje-Elektronické čtení.....	68
Tab. 20 Výsledky kalibrace nivelačního přístroje-Optické čtení .....	69
ab. 21 Zdroje nejistot – testování nivelačních přístrojů.....	70

## **SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 Porovnání odchylek přístroje TCR1203+ a TS30 .....	54
-----------------------------------------------------------	----



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 .....	Kalibrační list - teodolit
Příloha č. 2 .....	Kalibrační list totální stanice TS30
Příloha č. 3 .....	Protokol-měření délky
Příloha č. 4 .....	Kalibrační list - dálkoměr
Příloha č. 5 .....	Kalibrační list – invarové kodové měřítko
Příloha č. 6 .....	Kalibrační list – čárkové měřítko
Příloha č. 7 .....	Kalibrační list – nivelační přístroj